

---

# **DIPLOMARBEIT**

---

Herr **Christoph Schum**

## **Kennlinienmessung an elektronischen Motorsteuergeräten**

Mittweida, 2014



# **DIPLOMARBEIT**

---

## **Kennlinienmessung an elektronischen Motorsteuergeräten**

Autor:

**Herr Christoph Schum**

Studiengang:

**Informationstechnik**

Seminargruppe:

**KI09wF-D**

Erstprüfer:

**Prof. Dr.-Ing. Rainer Parthier**

Zweitprüfer:

**Dipl.-Ing. (FH) Sebastian Grimm**

Einreichung:

**Mittweida, 21.03.2014**

Verteidigung/Bewertung:

**Mittweida, 2014**

# **DIPLOMA THESIS**

---

## **Characteristic curve measurement on electronic engine control units**

author:

**Mr. Christoph Schum**

course of studies:

**Information Technology**

seminar group:

**KI09wF-D**

first examiner:

**Prof. Dr.-Ing. Rainer Parthier**

second examiner:

**Dipl.-Ing. (FH) Sebastian Grimm**

submission:

**Mittweida, 21.03.2014**

defence/ evaluation:

**Mittweida, 2014**

## **Bibliografische Beschreibung:**

Schum, Christoph:

Kennlinienmessung an elektronischen Motorsteuergeräten. - 2014 -

10 S. Verzeichnisse, 48 S. Inhalt, 4 S. Anhänge

Mittweida, Hochschule Mittweida, Fakultät Elektro- und Informationstechnik,  
Diplomarbeit, 2014

## **Referat:**

Ziel dieser Arbeit ist es, ein bestehendes Testsystem für integrierte Schaltkreise zu erweitern, sodass es für elektronische Motorsteuergeräte verwendet werden kann. Dazu wird ein Prüfkonzept für den Kennlinientest von elektronischen Motorsteuergeräten definiert. Dieses dient als Grundlage für mehrere in HTBasic programmierte Testprogramme.

Im Hauptteil der schriftlichen Arbeit wird die Entwicklung einer Prüfeinrichtung, bestehend aus Hardwareentwurf, Prüfkonzept und Umsetzung des Messverfahrens, dokumentiert.



# Inhalt

<b>Inhalt .....</b>	<b>I</b>
<b>Abbildungsverzeichnis .....</b>	<b>III</b>
<b>Tabellenverzeichnis .....</b>	<b>V</b>
<b>Abkürzungsverzeichnis .....</b>	<b>VI</b>
<b>1      Einleitung und Grundlagenwissen.....</b>	<b>1</b>
1.1 <i>Die Motivation die Kennlinienmessung für Motorsteuergeräte zu realisieren ...</i>	<i>1</i>
1.2 <i>Die Aufgabenstellung .....</i>	<i>1</i>
1.3 <i>Die Kapitelübersicht .....</i>	<i>2</i>
1.4 <i>Das Motorsteuergerät.....</i>	<i>2</i>
1.5 <i>Typische Schaltungen in Motorsteuergeräten.....</i>	<i>4</i>
1.6 <i>Die verschiedenen Steuergerätevarianten.....</i>	<i>8</i>
1.7 <i>Die Kennlinienmessung.....</i>	<i>10</i>
<b>2      Untersuchung des Ausgangszustands.....</b>	<b>13</b>
2.1 <i>Die vorhandene Hardware.....</i>	<i>13</i>
2.2 <i>Die vorhandene Software .....</i>	<i>17</i>
2.3 <i>Komponententester .....</i>	<i>20</i>
2.4 <i>Kennlinienschreiber .....</i>	<i>21</i>
2.5 <i>Wahl des geeigneten Messgerätes.....</i>	<i>22</i>
2.6 <i>Präzisierung der Aufgabe und aktueller Prozessablauf .....</i>	<i>23</i>
2.6.1 <i>Manuelle Analyse mittels Kennlinie .....</i>	<i>23</i>
2.6.2 <i>Die zukünftige Verwendung des Messgerätes .....</i>	<i>24</i>
2.6.3 <i>Ziel der Diplomarbeit .....</i>	<i>24</i>
<b>3      Hardwareentwurf .....</b>	<b>25</b>
3.1 <i>Schnittstellen.....</i>	<i>25</i>
3.2 <i>Lösungsvarianten.....</i>	<i>25</i>
3.3 <i>Auswahl einer Variante.....</i>	<i>27</i>

3.4	Verdrahtungsschema.....	28
3.5	Vorstellung von Einzelkomponenten .....	30
3.6	Montage.....	31
3.7	Inbetriebnahme .....	32
<b>4</b>	<b>Prüfkonzept .....</b>	<b>33</b>
4.1	Das Pin-to-Pin Prüfprogramm .....	33
4.2	Das Pin-to-Ground Leakage Prüfprogramm .....	34
4.3	Das Pin-to-Ground Prüfprogramm.....	35
4.4	Das Pin-to-all-Pins Prüfprogramm.....	36
4.5	Fazit zum Prüfkonzept .....	36
<b>5</b>	<b>Umsetzung des Messverfahrens am Beispiel .....</b>	<b>39</b>
5.1	Die Programmstruktur .....	39
5.2	Das Anlegen eines Programms.....	41
5.3	Die automatische Ermittlung der Referenzkennlinien .....	41
5.4	Die Anpassung der Referenzkennlinien .....	43
5.5	Die Stabilisierung der Referenzkennlinien .....	45
5.6	Der Geräteselbsttest .....	45
5.7	Die Umsetzung .....	46
5.8	Test der Prüfeinrichtung.....	46
<b>6</b>	<b>Zusammenfassung .....</b>	<b>49</b>
6.1	Ergebnis.....	49
6.2	Ausblick .....	49
<b>Literatur</b>	<b>.....</b>	<b>51</b>
<b>Anlagen</b>	<b>.....</b>	<b>53</b>
<b>Anlagen, Teil 1 – Verdrahtungsplan SG-Adapter</b>	<b>.....</b>	<b>A-I</b>
<b>Selbstständigkeitserklärung</b>	<b>.....</b>	
<b>CD</b>	<b>.....</b>	



# Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Motormanagement.....	3
Abbildung 2: Motronic System.....	4
Abbildung 3: Schaltplanauszug: Steuergeräteversorgung .....	5
Abbildung 4: Schaltplanauszug: Sensor- und Steuergeräte-Massepins.....	5
Abbildung 5: Schaltplanauszug: Sensorversorgungsausgänge .....	6
Abbildung 6: Schaltplanauszug: Analogeingänge.....	7
Abbildung 7: Schaltplanauszug: Signalausgänge .....	7
Abbildung 8: Schaltplanauszug: Bidirektionale Datenleitung (CAN-BUS) .....	8
Abbildung 9: Gehäusetypen .....	8
Abbildung 10: Häufig verwendete Steckerleisten.....	9
Abbildung 11: Übersicht SG-Generationen.....	10
Abbildung 12: Fehlerhafte Kennlinie eines CJ840C am Pin 6 (VCCD) .....	11
Abbildung 13: Testbilder.....	12
Abbildung 14: Die Hardware des automatisierten Kennlinienschreiber-Systems) .....	14
Abbildung 15: Einbau von Reed Relay, Multiplexer Karten.....	15
Abbildung 16: USB zu GPIB Adapter & GPIB Kabel.....	15
Abbildung 17: Das Hauptmenü der Software.....	18
Abbildung 18: Beispielhafte Liste von Testprogrammen .....	18
Abbildung 19: Die Messumgebung des Kennlinienschreibersystems .....	19
Abbildung 20: Beispielhafter Ausschnitt eines Berichts .....	19

Abbildung 21: Prinzipschaltbild Komponententester.....	20
Abbildung 22: ELV Komponententester KT-100.....	20
Abbildung 23: Keithley 4200-SCS Parameter Analyzer .....	21
Abbildung 24: Skizze Kontaktiermodul .....	26
Abbildung 25: 244-poliger Übergabestecker J6.....	29
Abbildung 26: Hyperboloide-Kontakte .....	30
Abbildung 27: Modulare Steckverbinder.....	30
Abbildung 28: Adapter von ECTS auf Kontaktiermodul .....	31
Abbildung 29: Beispiel Ausschnitt „Pin-to-Pin“ Prüfprogramm .....	33
Abbildung 30: Schematische Darstellung „Pin-to-Pin“ Prüfung.....	33
Abbildung 31: Beispielhafte „Pin-to-Ground Leakage“ Messung .....	34
Abbildung 32: Beispielhafter Ausschnitt Pin-to-Ground Leakage Prüfprogramm .....	34
Abbildung 33: Schematische Darstellung „Pin-to-Ground“ Prüfung .....	35
Abbildung 34: Beispielmessung „Pin to Ground“ eines CJ925 am Pin62.....	35
Abbildung 35: Beispielhafter Ausschnitt „Pin to all Pins“ Prüfprogramm .....	36
Abbildung 36: Schematische Darstellung „Pin to all Pins“ Prüfung .....	36
Abbildung 37: Hierarchische Anlage der Programmdateien .....	39
Abbildung 38: Beispielcode mit Verweisen auf die Applikation.....	40
Abbildung 39: Automatische Ermittlung der Referenzkennlinie starten.....	42
Abbildung 40: I-Point Toleranzen .....	44
Abbildung 41: I-Max Toleranzen .....	44

---

# Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Übersicht Hardware des ECTS .....	16
Tabelle 2: Übersicht Kennlinienschreiber .....	22
Tabelle 3: Übersicht Kontaktierungen.....	28
Tabelle 4: Erkennung von Fehlertypen .....	47

## Abkürzungsverzeichnis

<b>IC</b>	Integrated Circuit (Integrierter Schaltkreis)
<b>ECTS</b>	Electrical Characteristic Test System (automatisiertes Kennlinienschreiber System)
<b>USB</b>	Universal Serial Bus
<b>GPIO</b>	General Purpose Interface Bus
<b>PC</b>	Personal Computer
<b>DLL</b>	Dynamic Link Library
<b>HTML</b>	Hypertext Markup Language
<b>ADC</b>	Analog Digital Converter
<b>S-RAM</b>	Static Random Access Memory
<b>EEPROM</b>	Electrical Erasable and Programmable Read Only Memory
<b>PGA</b>	Pin Grid Array
<b>CAN</b>	Controller Area Network
<b>ASR</b>	Antriebsschlupfregelung
<b>OBD2</b>	On-Board-Diagnose
<b>SPI</b>	Serial Peripheral Interface
<b>LAN</b>	Local Area Network
<b>KGD</b>	Known Good Device
<b>SMT</b>	Surface Mounted Technology
<b>ESD</b>	Electrostatic Discharge
<b>LIN</b>	Local Interconnect Network
<b>LAN</b>	Local Area Network
<b>ICT</b>	In- Circuit-Test

---

<b>EPS</b>	ECU Powertrain Standard
<b>EPA</b>	ECU Powertrain Type A
<b>EPB</b>	ECU Powertrain Type B
<b>EPM</b>	ECU Powertrain Mold
<b>EPC</b>	ECU Powertrain Type C
<b>SKA</b>	Standard Kit Assembly
<b>DS</b>	Diesel Systems
<b>GS</b>	Gasoline (Benzin) Systems
<b>DGS</b>	Diesel and Gasoline Systems



# **1 Einleitung und Grundlagenwissen**

Dieses Kapitel soll dem Leser einen Überblick über die Diplomarbeit verschaffen sowie die Aufgabenstellung und die Motivation verdeutlichen. Letztendlich beinhaltet es grundlegendes Wissen das zum Verständnis der Arbeit benötigt wird.

## **1.1 Die Motivation die Kennlinienmessung für Motorsteuergeräte zu realisieren**

Die Spitzenstellung der deutschen Automobilbranche in der Welt kann nur gesichert werden, wenn sie durch Innovation in der Forschung und Entwicklung weiterhin technisch Feder führend bleibt.

Das kann aber nur gelingen, wenn auch die Zulieferbetriebe diesen Weg mitgehen, da viele Produktionsschritte, die bei der Herstellung von Kraftfahrzeuge notwendig sind, von den Automobilherstellern ausgegliedert wurden und an externe Firmen vergeben wurden.

Hier nimmt besonders der Firma Bosch, als einer der größten Zulieferbetriebe der Automobilbranche, eine wichtige Rolle ein. Sie liefert, neben zahlreichen anderen Komponenten, Motorsteuergeräte.

Getrieben von dem Wunsch nach mehr Leistung, geringerem Verbrauch und besseren Abgasemissionen, ist die Automobilelektronik ständiger Weiterentwicklung unterworfen. Der technische Fortschritt auf diesen Gebieten ist für uns nicht immer direkt wahrnehmbar. Verbesserte Lösungen für bekannte Probleme wirken sich jedoch auf die Komplexität von Steuergeräten aus.

Daraus resultieren steigende Anforderungen an die Analyse dieser Systeme, die eine Notwendigkeit innerhalb der Qualitätssicherung darstellen.

Die Verwendung von herkömmlichen Werkzeugen, wie z.B. Oszilloskope und Multimeter, ist weiterhin erforderlich, deckt jedoch nicht die gesamte Bandbreite der nötigen Aufgaben, wie z.B. Kennlinienmessung an elektronischen Schaltungen, innerhalb der Steuergeräteanalyse ab.

## **1.2 Die Aufgabenstellung**

Der Diplomand soll mehrere neue Prüfprogramme und eine Adaptierung für ein Kennlinienschreiber-System entwickeln, die den Analyseaufwand an elektronischen Motorsteuergeräten reduzieren bzw. deren Analyse erleichtern. Unter der Berücksichtigung der vor-

handenen Analysehardware ECTS (Electrical Characteristic Test System) sollen diese Prüfprogramme Kennlinien über die Steckerleiste von Motorsteuergeräten mit denen von Mustergeräten vergleichen und das Ergebnis in einem Bericht dokumentieren.

In diesem Zusammenhang soll ein Prüfkonzzept entwickelt werden, das als Vorlage für weitere Prüfprogramme gilt. Es ermöglicht die Erweiterung der Analysehardware für zukünftige Steuergeräte mithilfe weiterer Prüfprogramme.

## 1.3 Die Kapitelübersicht

Die Diplomarbeit besteht aus sechs Kapiteln.

Im Anschluss an die einleitenden Ausführungen in **Kapitel 1** wird in **Kapitel 2** „Untersuchung des Ausgangszustands“ die vorhandene Analysehardware ECTS vorgestellt und mit weiteren Messgeräten verglichen und bewertet. Zum Schluss wird die präzise Aufgabenstellung in der Problemanalyse anhand von kritisierten Punkten am aktuellen Prozessablauf formuliert.

Das **Kapitel 3** enthält das Ergebnis der durchgeführten Recherche zum Hardwareentwurf, die einen Überblick zu den vorhandenen Schnittstellen am Steuergerät sowie dem Kennlinienmessgerät enthält. Hier werden mögliche Lösungswege für eine Adaptierung einander gegenübergestellt und, als Konsequenz daraus, eine Variante ausgewählt. Es folgt der Entwurf der Hardware bestehend aus Verdrahtungsschema, Vorstellung von Einzelkomponenten und Zusammenbau. Abschließend wird im Abschnitt „Inbetriebnahme“ auf Konstruktionsthemen eingegangen.

Daran anknüpfend beschreibt das **Kapitel 4** das Prüfkonzzept. Dieses Konzept stellt die gewählte Basis zur Erweiterung der Analyseumgebung für die Prüfung zukünftiger Steuergeräte mithilfe von Prüfprogrammen dar.

Schließlich wird in **Kapitel 5** die Umsetzung des Messverfahrens am Beispiel-Steuergerät vom Typ MED17.1.6 beschrieben. Es erläutert die Erstellung eines Prüfprogramms, den Geräteselbsttest und den Umfang des praktischen Arbeitsanteils des Diplomanden.

In **Kapitel 6** werden die Ergebnisse zusammengefasst und ein Ausblick formuliert.

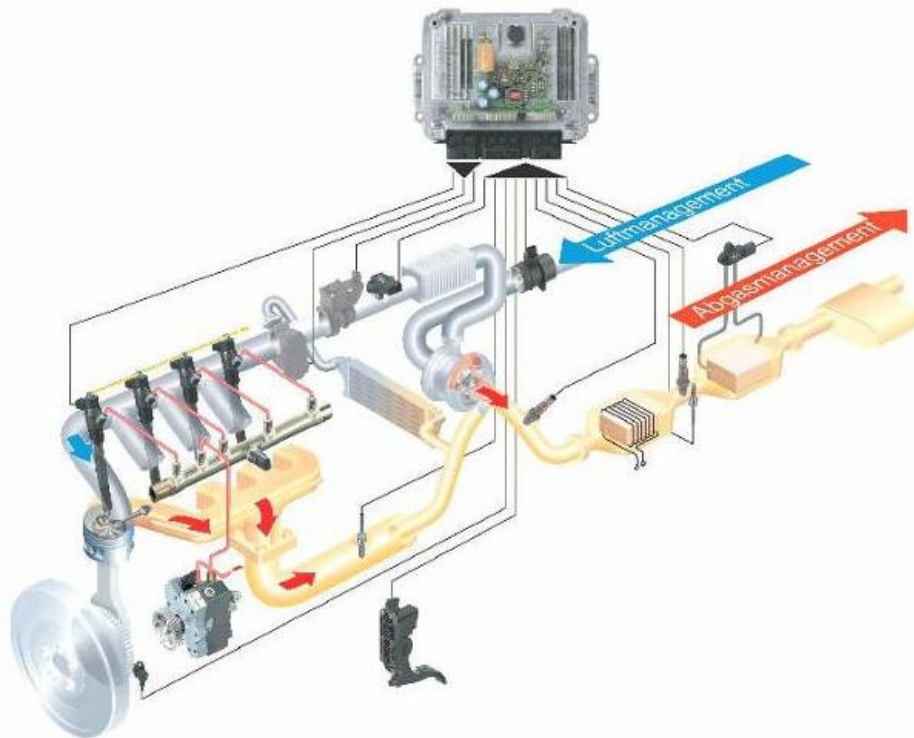
Im Anhang sind ergänzende Informationen enthalten.

## 1.4 Das Motorsteuergerät

Der Begriff „Steuergerät“ umfasst eine breite Palette an mechanischen und elektronischen Geräten, die der Lösung bestimmter Probleme oder Aufgaben dienen. Die Hauptaufgabe eines Motorsteuergerätes ist die Einstellung des vom Fahrer gewünschten Betriebszu-



stands eines Verbrennungsmotors. Die Erfassung und Umsetzung des Wunsches (Gaspedalstellung) ist auf der Basis eines Mikrocontrollers realisiert.



**Abbildung 1: Motormanagement (Quelle: [Boln2013])**

Die Aufgaben eines Steuergerätes können folgendermaßen gegliedert werden:

- Grundfunktionen
  - Bestimmung der Luftfüllung der Zylinder
  - Bestimmung der eingespritzten Kraftstoffmasse
  - Einstellung des Zündwinkels
- Zusatzfunktionen
  - Leerlaufregelung
  - Lambdaregelung
  - Kraftstoffmanagement
  - Fahrgeschwindigkeitsregelung
- Fahrzeugmanagement (über CAN realisiert)
  - Drehmomentreduzierung beim Schaltvorgang (Automatikgetriebe)
  - Drehmomentreduzierung bei durchdrehenden Rädern (ASR)
  - Bereitstellung von Betriebsinformationen (Instrumentenanzeige)
- Diagnose
  - Überwachung aller Komponenten (teilweise gegenseitig)
  - Bereitstellung einer Diagnoseschnittstelle (OBD2)

Die Bewältigung der dargestellten Aufgaben eines Motorsteuergerätes basiert auf einer modular aufgebauten Hardware und der dazugehörigen Software. Dieses Konzept ermöglicht die Bereitstellung einer dem Kundenwunsch angepassten Lösung.

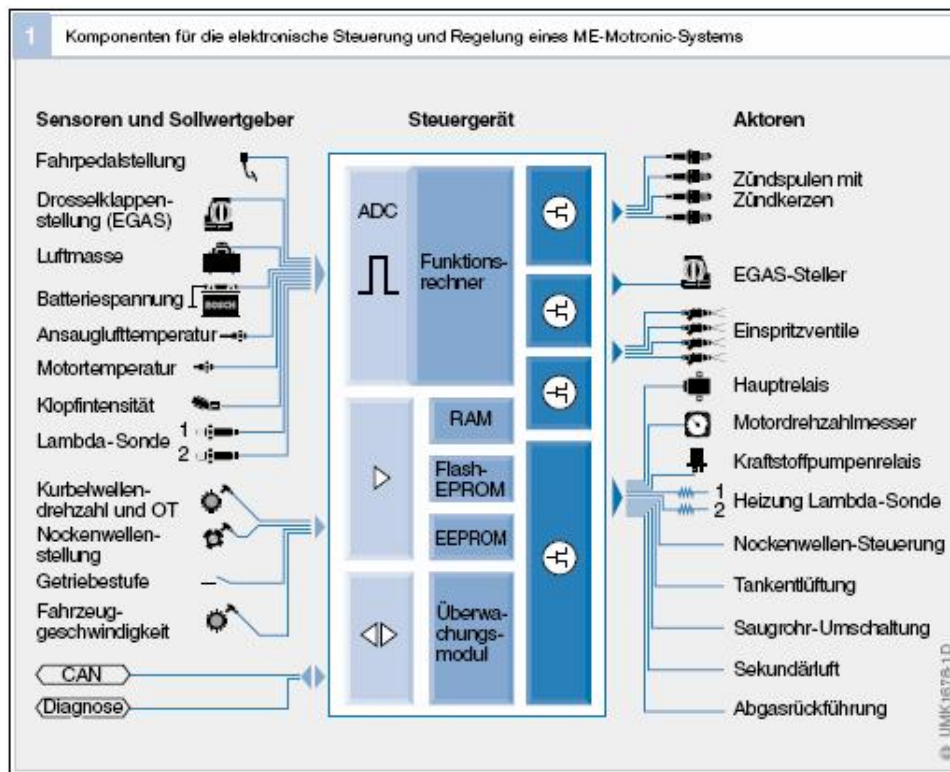


Abbildung 2: Motronic System (Quelle: [Boln2013])

Der Kern eines Steuergerätes besteht aus einem Mikrocontroller, der von mehreren applikationsspezifischen IC (integrated circuit – integrierter Schaltkreis) umgeben wird. Diese Bauteile übernehmen die Erfassung der Eingangs- bzw. die Generierung spezieller Ausgangssignale.

## 1.5 Typische Schaltungen in Motorsteuergeräten

Es ist wichtig zu wissen, welche elektronischen Schaltungen sich hinter Steckerleisten-Pins verbergen können, um Kennlinienmessungen am Steuergerät durchzuführen. In diesem Abschnitt werden die üblichen Schaltungsteile beschrieben, die in jedem Motorsteuergerät, zum Teil mehrfach, vorhanden sind. Bei der Darstellung ausgewählter Schaltungen von Motorsteuergeräten wird nicht jede Varianz und jedes Detail vorgestellt. Für die Kennlinienmessung relevante Details wurden vom Diplomanden ausgewählt, um zu verdeutlichen, was mit der Messung geprüft werden kann.

### Spannungsversorgung des Steuergerätes

Bei der Spannungsversorgung des Steuergerätes ist zu beachten, dass oft mehrere Pins dafür vorgesehen sind, um über diesen Pfad einen hohen Strom führen zu können. Übli-

cherweise befindet sich an jedem Pin ein Entstör-Kondensator, um die elektromagnetische Verträglichkeit zu gewährleisten. Danach folgen mehrere Stützkondensatoren mit hohen Kapazitäten. Ihre Aufgabe ist es, die Versorgungsspannung zu stabilisieren. Außerdem wird die Versorgungsspannung mit einer Z-Diode gegen Überspannung und Verpolung geschützt. Im Regelfall kommt diese Schaltung auf jedem Steuergerät einmal vor. In der Kennlinienmessung können diese Pins nur bedingt gemessen werden, da sich ihre Kennlinie abhängig vom maximal verfügbaren Strom verändert. Dadurch wird mit einem geringen Strom nur die Anbindung kontrolliert. Aus diesem Grund sehen die Kennlinien aus wie die eines Kurzschlusses.

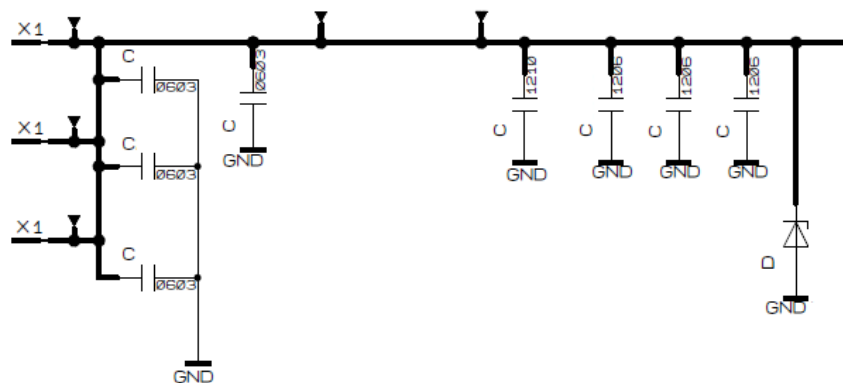


Abbildung 3: Schaltplanauszug: Steuergeräteversorgung (Quelle: [BoIn2013])

### Sensor und Steuergeräte Massepins

Die Massen im Steuergerät sind lediglich innerhalb des Steuergerätes miteinander verbunden. Die Kennlinienmessung sollte bei der Messung eines Massepins, gegeneinander oder gegen Masse, immer einen Kurzschluss aufweisen. Mit diesem Verfahren kann die Kennlinienmessung nicht angebundene Masse-Pins ermitteln.

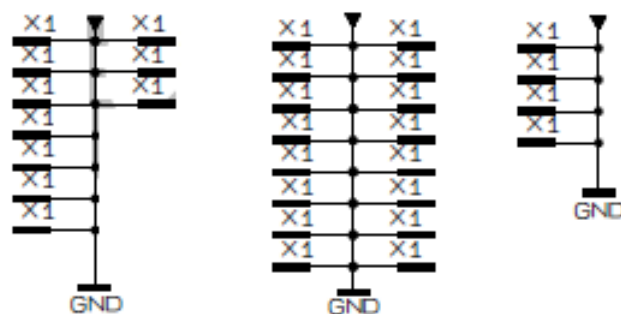


Abbildung 4: Schaltplanauszug: Sensor- und Steuergeräte-Massepins (Quelle: [BoIn2013])

### Sensorversorgungsausgänge des Steuergerätes

Die Sensorversorgung für verschiedene Sensoren wird, wie in Abbildung 5 zu sehen, durch einen IC realisiert. Es ist zu beachten, dass mehrere Steuergeräte-Pins auf einem IC-Pin verbunden sind. Genauso wie bei der Versorgung des Steuergerätes, sind die

Steuergeräte-Pins mit Entstör-Kondensatoren versehen. Stützkondensatoren befinden sich an den IC-Pins. Diese Schaltung kommt üblicherweise einmal im Steuergerät vor und versorgt alle Sensoren. Daraus resultiert für die Kennlinienmessung, dass, bedingt durch den identischen Aufbau, alle Pins die gleiche Kennlinie haben. Die Kennlinienmessung über die Steckerleiste überprüft die Verbindung, die Kondensatoren und die IC-Pins.

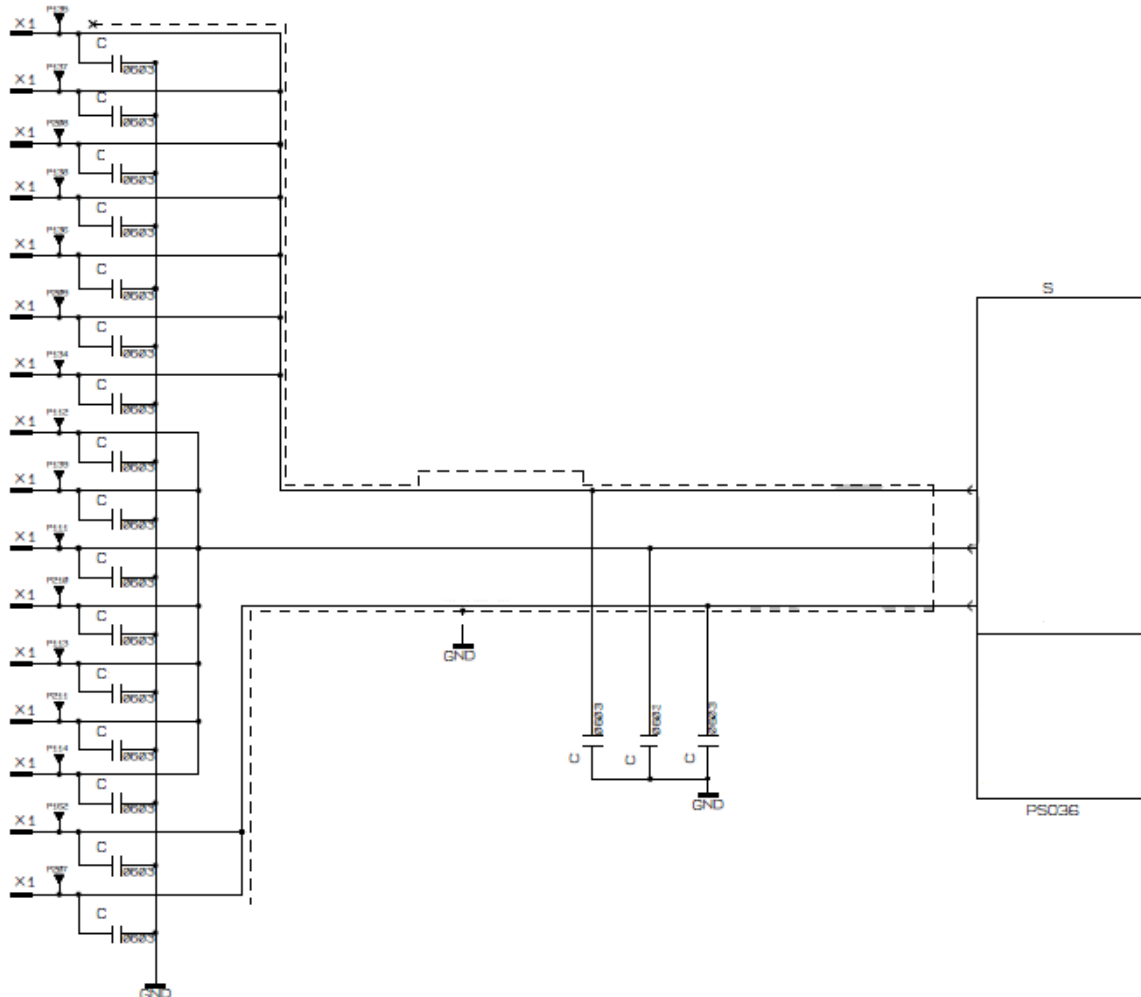


Abbildung 5: Schaltplanauszug: Sensorversorgungsausgänge (Quelle: [Boln2013])

## Signalerfassung

In der Signalerfassung gibt es die größte Varianz zwischen den verschiedenen Steuergerädetypen. Üblicherweise sind für die Erfassung der Signale verschiedene IC auf dem Steuergerät verantwortlich. Meistens gibt es eine vorgeschaltete Signalanpassung durch Widerstände und Kondensatoren. Dies ist in Abbildung 6 zu sehen. Durch die unterschiedlichen Signalanpassungen und IC ergeben sich spezifische Kennlinien an diesen Pins. Mit der Kennlinienmessung kann die korrekte Bestückung der Widerstände sowie die Schutzstruktur der verschiedenen IC gemessen werden.

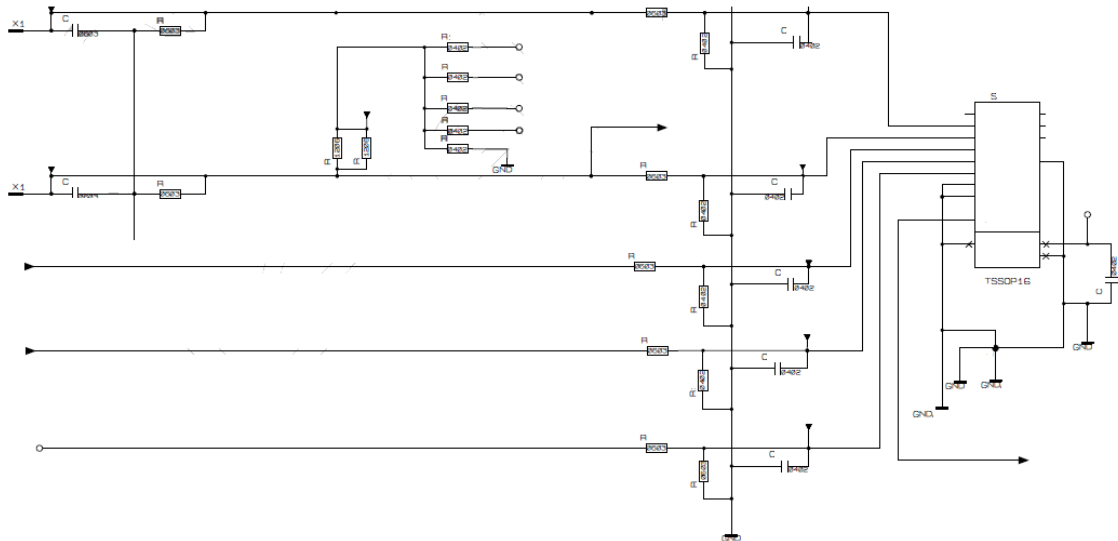


Abbildung 6: Schaltplanauszug: Analogeingänge (Quelle: [Boln2013])

### Signalausgänge

Wie bei der Signalerfassung gibt es auch bei den Signalausgängen eine hohe Varianz und Häufigkeit. Bei Signalausgängen sind, wie in Abbildung 7 zu sehen, oft ähnliche Schutzdioden verbaut. Dementsprechend sehen die Kennlinien an den Signalausgängen oft gleich aus. Mit der Kennlinienmessung können die Schutzdioden gemessen werden.

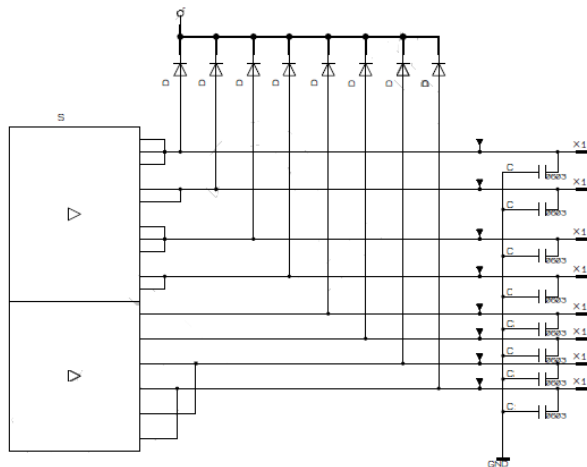


Abbildung 7: Schaltplanauszug: Signalausgänge (Quelle: [Boln2013])

### Bidirektionale Datenleitungen

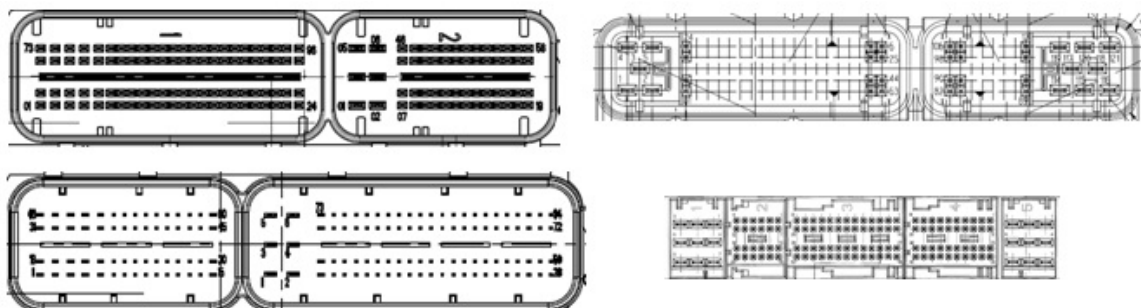
Bei bidirektionalen Datenleitungen handelt es sich um die fahrzeugtypischen Bussysteme wie CAN (Controller Area Network), LIN (Local Interconnect Network), FlexRay und K-Line sowie zukünftig auch LAN (Local Area Network). Diese Schaltungen haben, wie in Abbildung 8 zu sehen, eine Busanpassung durch passive Bauelemente und einen Transceiver, der in einem IC realisiert ist. Die Kennlinienmessung kann mit einer Messung die Widerstände, Kondensatoren und Dioden, die sich vorgeschaltet am Transceiver befinden, sowie den Transceiver selbst überprüfen.



Wie in Abbildung 9 zu sehen ist, gibt es momentan fünf Gehäuse-Konzepte und vier weitere Derivate, die von Bosch produziert werden. Sie unterscheiden sich hauptsächlich in der Größe und der Montage. Bis auf EPM und EPS werden die Leiterplatten immer ins Gehäuse gelegt und anschließend mit diesem verschraubt. Der Baukasten EPS wird ins Gehäuse eingeschoben. Während SKA- und EPA-Steuergeräte nur von außen verschraubt werden, werden EPB- und EPC-Steuergeräte auch innerhalb des Gehäuses verschraubt. Das EPS wird lediglich geklemmt. SKA+ und EPA19xx sind Weiterentwicklungen von SKA und EPA. EPM stellt ganz neue Herausforderungen. Die EPM Steuergeräte werden in Moldmasse gegossen und die verbauten Komponenten sind nicht zerstörungsfrei zugänglich. Deswegen ist es umso wichtiger, viele Informationen über mögliche Fehlerquellen im Steuergerät mit der Messung über die Steckerleiste zu ermitteln.

Die Steckerleisten sind üblicherweise Pin-Buchse-Verbindungen, wobei am Steuergerät selbst immer die Pin-Verbindung montiert ist. Die EPM-Steuergeräte werden mit einer Slot Verbindung kontaktiert. Da die Steckerleiste die Schnittstelle zum Kundenstecker darstellt, ist sie oft auch kundenspezifisch. Der Funktionsumfang des Steuergerätes spiegelt sich in der Anzahl der benötigten Pins wider. Daraus resultiert die Varianz der Steckerleisten. Die Steckerleiste hat aktuell zwischen 94 und 336 Pins, geplant sind aber bis zu 400 Pins. Es sind mittlerweile 25 verschiedene Steckerleisten in Gebrauch, aber die Anzahl steigt mit zukünftigen Steuergeräten.

Abbildung 10 zeigt die unterschiedlichen Stecker, die häufig verwendet werden, in einer Bildersammlung.



**Abbildung 10: Häufig verwendete Steckerleisten (Quelle: [BoIn2013])**

In Bezug auf die Funktion gibt es oberflächlich betrachtet keine Unterschiede zwischen den Motorsteuergeräten. Alle Motorsteuergeräte arbeiten ähnlich wie in Abschnitt 2.1.1. beschrieben. Es wird bei Bosch zwischen Diesel (DS) und Benzin (GS) Steuergeräten unterschieden. Die signifikanteste Varianz besteht zwischen den verschiedenen Generationen von Steuergeräten. Es ist aktuell die Rede von EDC16 bzw. ME(D)9 und EDC17 bzw. ME(D)17-Motorsteuergeräten. Zuvor gab es die Generationen EDC15 bzw. ME(D)7. In Zukunft verschmilzt die Bezeichnung der Motorsteuergeräte in der Benennung MDG1. Hintergrund dieser Verschmelzung ist, dass vermehrt Steuergeräte auf Modulbasis entwickelt werden, die sich nur marginal zwischen Benzin- und Diesel-Technologie unterscheiden. Deswegen hat Bosch während der Generation der EDC17 bzw. ME(D)17 die Orga-



nisation von DS (Diesel Systems) & GS (Gasolin Systems) zu DGS (Diesel and Gasolin Systems) zusammengefasst. Siehe Abbildung 11 zur Übersicht.

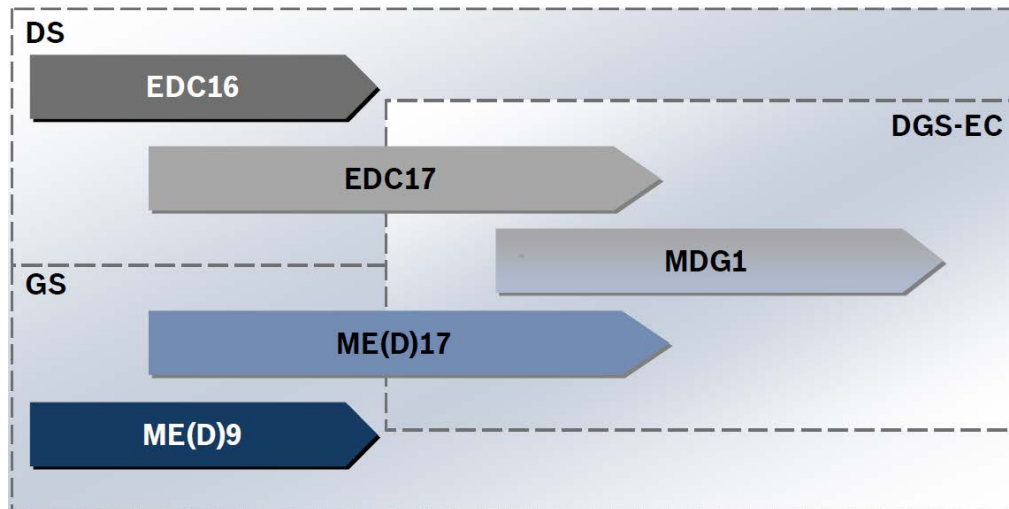


Abbildung 11: Übersicht SG-Generationen (Quelle: [Boln2013])

## 1.7 Die Kennlinienmessung

Eine Kennlinie ist eine grafische Darstellung von physikalischen Größen, die für ein Bauteil, eine Baugruppe oder ein Gerät kennzeichnend ist. Die Kennlinie wird als Linie in einem zweidimensionalen Koordinatensystem dargestellt. Ein Beispiel für eine Kennlinie ist die Abhängigkeit des durch eine Diode fließenden elektrischen Stroms von der elektrischen Spannung ( $I = f(U)$ ). Besonders wichtig sind Kennlinien bei nichtlinearen Bauteilen und Systemen. Kennlinien werden durch Interpolation und Regression von aufgetragenen Messwerten aus Messreihen gewonnen. Die Messwerte selbst werden meistens nicht grafisch dargestellt. Die Kennlinie (etwa eines elektronischen Bauteils wie Widerstand, Diode oder Kondensator) kann bestimmt werden, indem man einen Kennlinienschreiber verwendet. Mit gewissen Einschränkungen können auch die Kennlinien von Bauteilen aufgenommen werden, die in einer elektronischen Schaltung eingebaut sind. Auf diese Weise lassen sich defekte Bauteile lokalisieren. Messungen in der Schaltung können durch nicht vorhandene Kontakte und verschieden spezifizierte Schutzstrukturen der Bauteile eingeschränkt werden.

Gemäß dem Thévenin-Theorem kann jedes System aus Spannungsquellen und (komplexen) Widerständen als zweipoliges elektrisches Bauelement modelliert werden. Daher ist es auch möglich, Strom-Spannungs-Kennlinien komplexerer Baugruppen aufzuzeichnen. Die Kennlinie verläuft linear, wenn der Innenwiderstand des Elementes ein ohmscher Widerstand ist. Bei Halbleitern, wie der idealen Diode, ist eine gekrümmte, nichtlineare Kennlinie vorhanden.

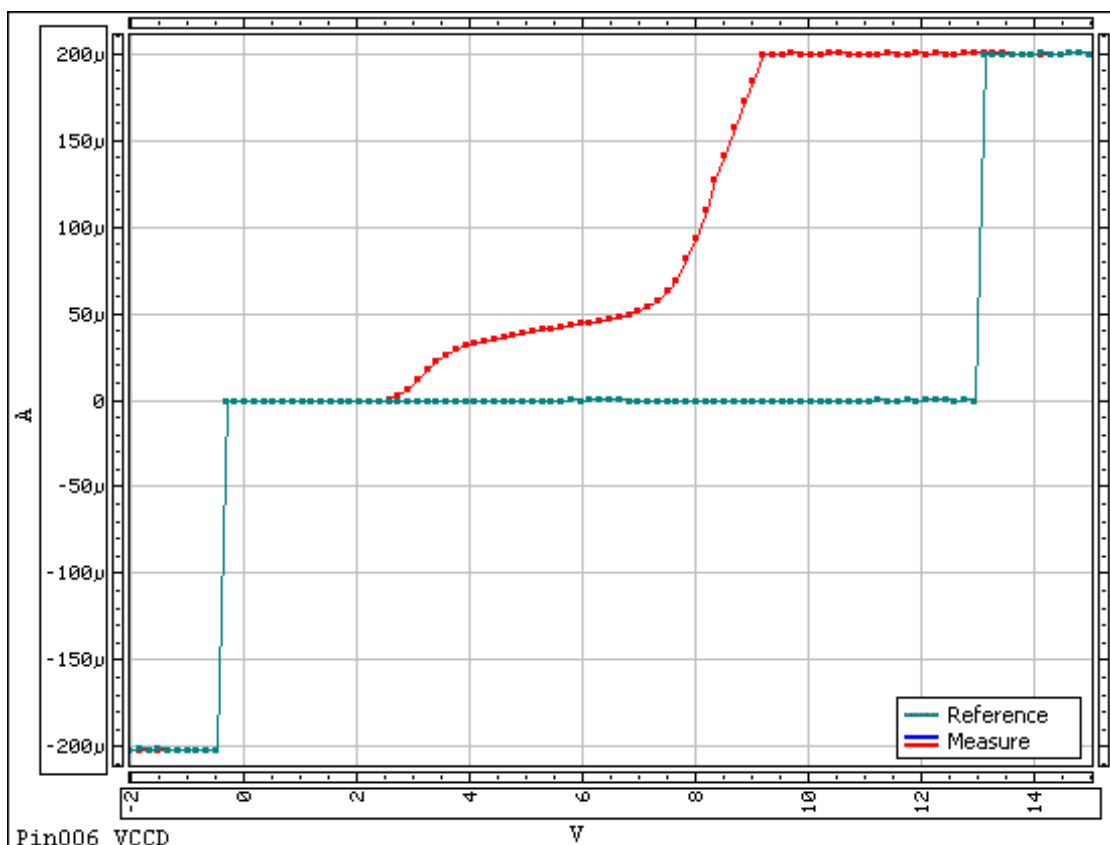


Die Kennlinie ist nützlich für die Fehlerverifikation und frühe Stufen der Fehleranalyse. So können Abweichungen von Strom-Spannungs Verhältnissen identifiziert und nachgewiesen werden.

Die Kennlinie eines Steuergeräte Pins, die der Referenz entspricht, ist ein klares Indiz für den korrekten Aufbau der Schaltung, die sich dahinter verbirgt. Sollte die Kennlinie von der Referenz abweichen, liegt mit großer Wahrscheinlichkeit eine Beschädigung vor. Abbildung 12 zeigt exemplarisch ein Beispiel für eine solche Abweichung. Daher ist die Kennlinienmessung ein gutes Werkzeug in der Fehleranalyse von Motorsteuergeräten.

In der gesamten Arbeit geht es um die I-U-Kennlinie. Die I-U-Kennlinie zeigt die Spannung [U] in Volt auf der X-Achse und den Strom [I] in Ampere auf der Y-Achse.

Die Kennlinie eines Steuergeräte-Pins sollte immer den oberen bzw. den unteren Durchbruch des Pins zeigen. Als Durchbruch wird die starke Zunahme des Sperrstromes der Schutzdioden, die an jedem Pin vorhanden sind, bezeichnet. Diese Durchbrüche sollten möglichst weit rechts bzw. links auf dem Diagramm liegen, weil sich dazwischen der Arbeitsbereich des Pins befindet. Dies gilt nur für Messungen, die zu einem Bezugspunkt wie Ground durchgeführt werden.



**Abbildung 12: Fehlerhafte Kennlinie eines CJ840C am Pin 6 (VCCD)**

Anhand der Kennlinien in Abbildung 13 kann die Funktion zahlreicher Bauelemente auf Anhieb ausgewertet werden.

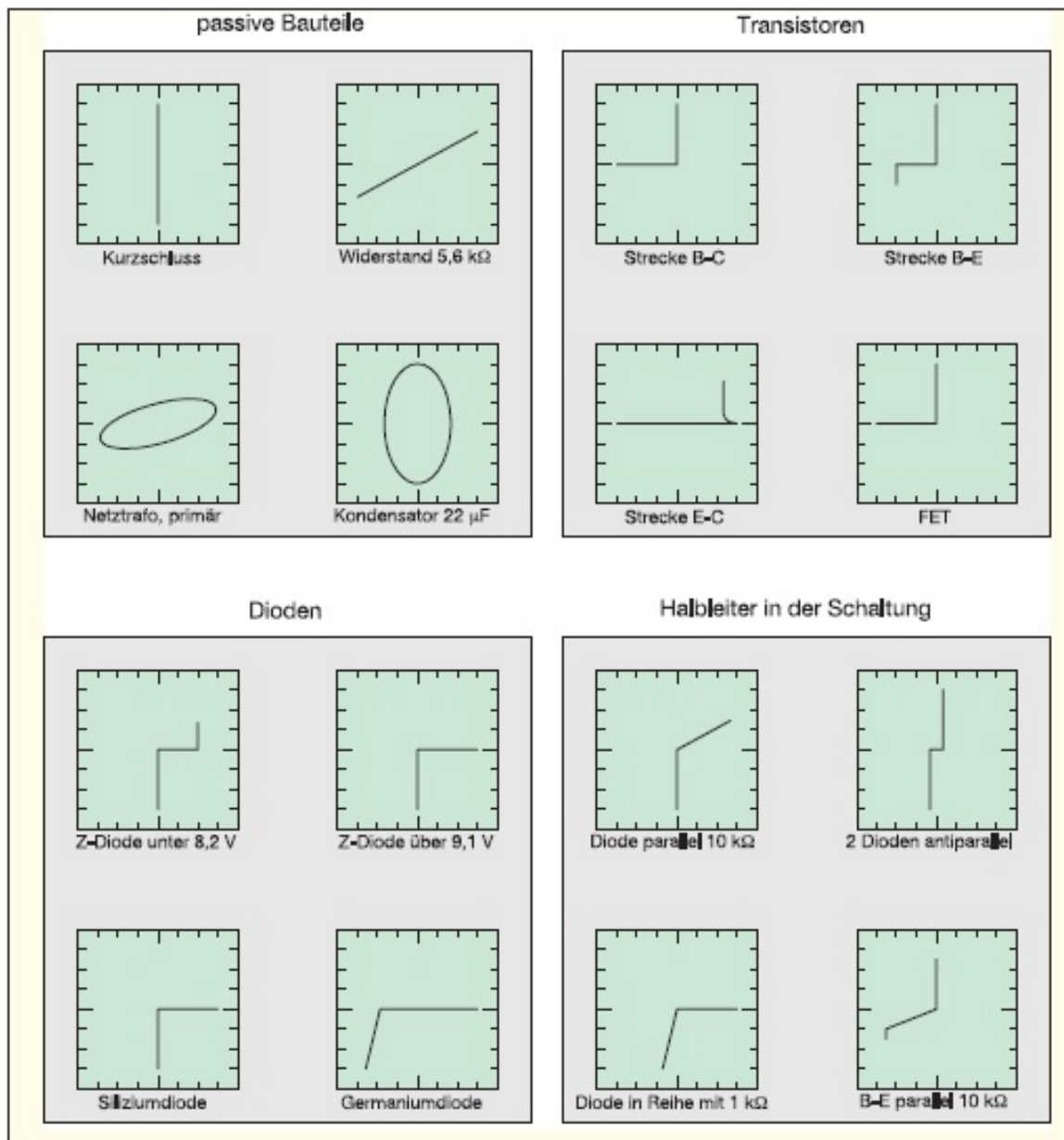


Abbildung 13: Testbilder (Quelle: [ELVE2009])

## 2 Untersuchung des Ausgangszustands

Ziel dieses Kapitels ist es, die Aufgabenstellung einzugrenzen. Zunächst wird die vorliegende Hard- und Software mit den marktüblichen Messgeräten verglichen und vor dem Hintergrund ausgewählter Faktoren bewertet. Diese Bewertung dient als Grundlage für die Präzisierung der Aufgabenstellung, in der die gewünschte Verbesserung anhand der kritisierten Punkte am aktuellen Prozessablauf dargestellt wird.

### 2.1 Die vorhandene Hardware

Das ECTS ist gemäß den Abbildungen 14-16 und der Tabelle 1 aufgebaut. Das System wurde von der Analysewerkstatt der Qualitätssicherung des Bosch Werkes Reutlingen entwickelt. Es wird eingesetzt, um Kennlinien von IC zu überprüfen.

Im Rahmen seines Praxisprojekts II des Diplomanden wurde das ECTS angeschafft und mit Hilfe von Bosch Reutlingen in Betrieb genommen. Die Aufgabe des Diplomanden war dann, Prüfprogramme zu erstellen und Sockeladaptierungen für die in Motorsteuergeräten verbauten IC zu beschaffen. Im Rahmen dieses Praxisprojektes wurde durch den Diplomanden die Grundlage geschaffen eine Kennlinienmessung durchzuführen.

Das Source Meter 2612A [1], die Präzisions-Spannungs- und Stromquelle, ist das eigentliche Messgerät des ECTS. Gesteuert wird das Source Meter über den GPIB-Bus. Die gemessenen Werte werden ebenfalls mithilfe des GPIB Bus übertragen.

Der System Switch 3706-SNFP [2] dient als Gehäuse und Steuerung für die Reed-Relay-Karten [6] sowie als Spannungsversorgung. Insgesamt gibt es sechs verbaute Reed-Relay-Karten in dem System Switch, um maximal 180 Pins zu messen. Eine Reed-Relay-Karte [6] kann 60 Dualkanäle schalten. Jede Karte ist als Multiplexer konfiguriert. Das bedeutet, dass von zwei Leitungen auf 60 Leitungen umgeschaltet werden kann oder, wie in unserem Fall, von 4 Leitungen auf 30 Leitungen. Jede Leitung innerhalb der Reed Relay-Karte [6] kann 1A Strom und 200V Spannung schalten. Durch die sechs Reed-Relay-Karten [6] kann man somit alle vier Ausgänge des Source Meters auf einen oder mehrere der 180 möglichen Pins schalten. Die Reed-Relay-Karten werden in das System Switch eingeschoben (siehe Abbildung 15).

Der Verdrahtungsadapter [3] adaptiert vom Source Meter[1] und dem System Switch [2] über einen Kabelbaum auf vier 96-polige Stecker auf der Oberseite. Bei der Adaptierung handelt es sich um eine eins zu eins Verdrahtung.

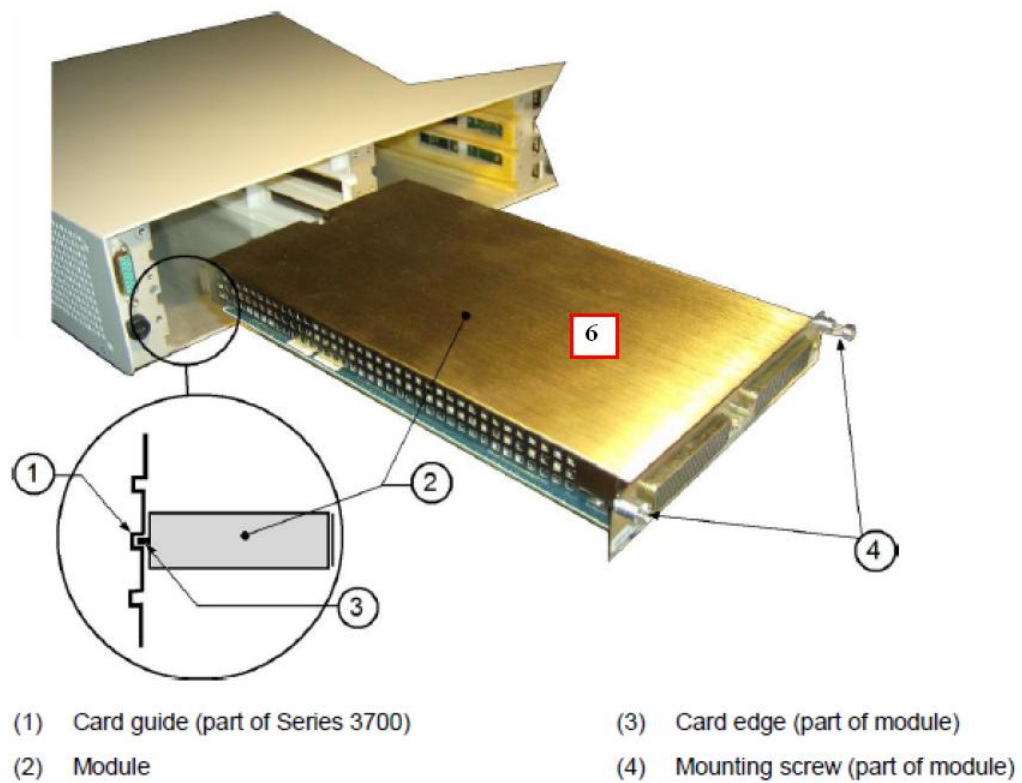
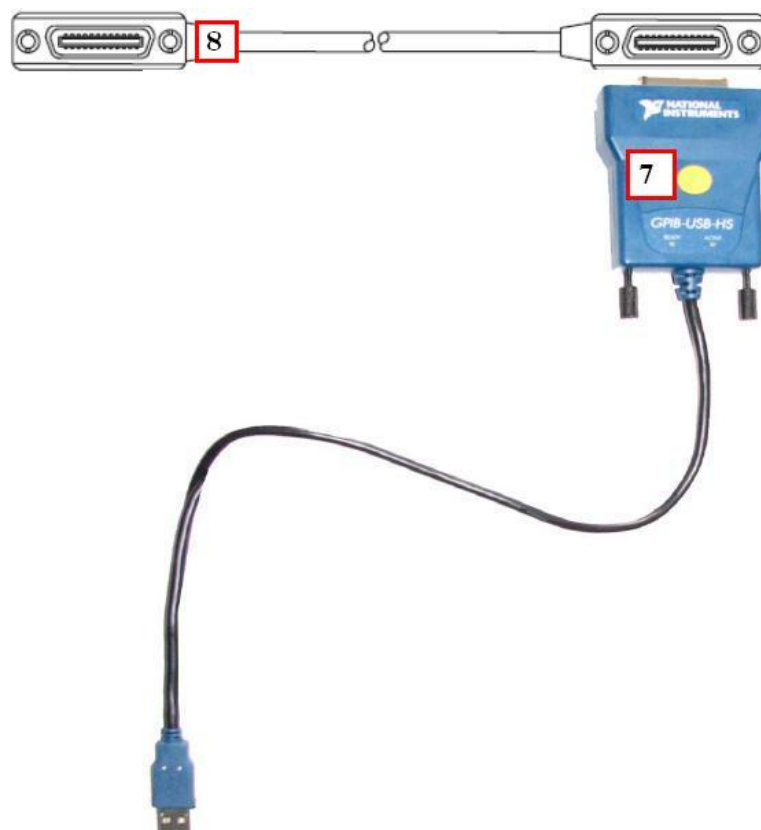
Das Mainboard180 [4] verbindet den Verdrahtungsadapter über die vier 96-poligen Stecker auf verschiedene Sockelplatinen und bietet die Möglichkeit, jeden der 180 messbaren Pins manuell zu kontaktieren oder externe Beschaltungen anzuschließen.

Die Sockelplatinen [5], auch IC Adapter genannt, sind meistens mit einem Sockel versehen, der vom Zulieferer zum Testen des Bausteins vorgegeben wurde. Die Leiterplatte, auf der der IC-Sockel bestückt ist, adaptiert auf das Mainboard 180.

Der „GPIB USB HS“ [7] ist der Adapter vom PC auf das ECTS, der mittels GPIB Kabel Typ X2 [8] am Source Meter und am System Switch angeschlossen ist. Für dieses Interface ist ein Treiber auf dem PC zu installieren. Über dieses Interface kommuniziert die Software mit der Hardware.



Abbildung 14: Die Hardware des automatisierten Kennlinienschreiber-Systems (Quelle: [HoKa2011])

**Typical module installation****Abbildung 15: Einbau von Reed Relay, Multiplexer Karten (Quelle: [HoKa2011])****Abbildung 16: USB zu GPIB Adapter & GPIB Kabel (Quelle: [HoKa2011])**

<b>Nr.</b>	<b>Hersteller</b>	<b>Bezeichnung</b>	<b>Funktion</b>
1	Keithley	Source Meter 2612A	Präzisions-Spannungs- und Stromquelle
2	Keithley	System Switch 3706-SNFP	Spannungsversorgung und Steuerung für „Reed Relay Karten“
3	Müller Elektronik	Verdrahtungsadapter inkl. Kabelbaum	Adapter von Keithley Hardware auf Mainboard 180
4	Müller Elektronik	Mainboard180	Adapter vom Verdrahtungsadapter auf den IC Adapter und Kontaktiermöglichkeit für Hirschmann Kleps
5	Müller Elektronik	IC-Adapter	Adaptierung vom Mainboard180 auf jeweiliges IC Gehäuse
6	Keithley	6x 3723 Dual 1x30, High Speed, Reed Relay Multiplexer Card	Reed Relay zum Schalten der Ausgänge des Source Meter auf den IC.
7	National Instruments	GPIB-USB-HS	Adapter von einem PC(USB) auf den ECTS(GPIB)
8	National Instruments	GPIB-Kabel Typ X2	Adapter von 1x GPIB auf 2x GPIB

**Tabelle 1: Übersicht Hardware des ECTS**

## 2.2 Die vorhandene Software

Das Softwarepaket des ECTS ist eine Eigenentwicklung von Bosch Reutlingen. Das Programm wurde zum größten Teil in der Programmiersprache HTBasic geschrieben. Des Weiteren kamen hierfür dll's (Dynamic Link Library), C++ und zum Erstellen der Berichte HTML (Hypertext Markup Language) zum Einsatz. Sobald der Treiber für das USB zu GPIB Interface installiert ist, kann, nach dem Kopieren des Ordners "HTB\_Prog" auf die lokale Festplatte C, das Programm direkt gestartet werden. Um den Aufwand der Softwareerstellung gering zu halten, wurde jegliche automatische Updatefunktion deaktiviert. Benötigte Drittanwendungen, wie z.B. Irfanview (Bildanzeigeprogramm), wurden integriert.

Wie in Abbildung 17 (dem Hauptmenü) zu sehen ist, wurde versucht, das Programm möglichst einfach und übersichtlich zu gestalten. Es gibt drei Button im Hauptmenü, die hauptsächlich genutzt werden. Der erste Button heißt „Test Program Selection“ (Test Programm Auswahl), mit dem man ein verfügbares Programm aus einer Liste auswählen kann. Der zweite Button heißt „Test Programm Registry“, der die gleiche Liste öffnet, aber zusätzliche Buttons im PopUp-Fenster hat, um weitere Programme zu erstellen. Der dritte grüne „Start“- Button startet das ausgewählte Testprogramm.

Im Fenster „Test Programm Registry“ ist es nicht möglich, ein Programm auszuwählen sowie es unter „Test Programm Selection“ nicht möglich ist, Programme zu erstellen. Abbildung 18 zeigt das Fenster, das erscheint, wenn man den Button „Test Programm Registry“ drückt. Hintergrund dieser Aufteilung ist die Benutzerrollenverteilung. Es wird zwischen Nutzern und Administratoren unterschieden. Nutzer erstellen keine Programme, Administratoren schon. Wie in der Liste in Abbildung 18 oder im Preview Bereich in Abbildung 17 zu sehen ist, werden die zu wählenden Sockel und Boards für den jeweiligen Prüfling aufgelistet. Somit ist im Programm ersichtlich, welchen Sockel und welches Board zur Adaptierung auf die Hardware aufgesteckt werden muss.



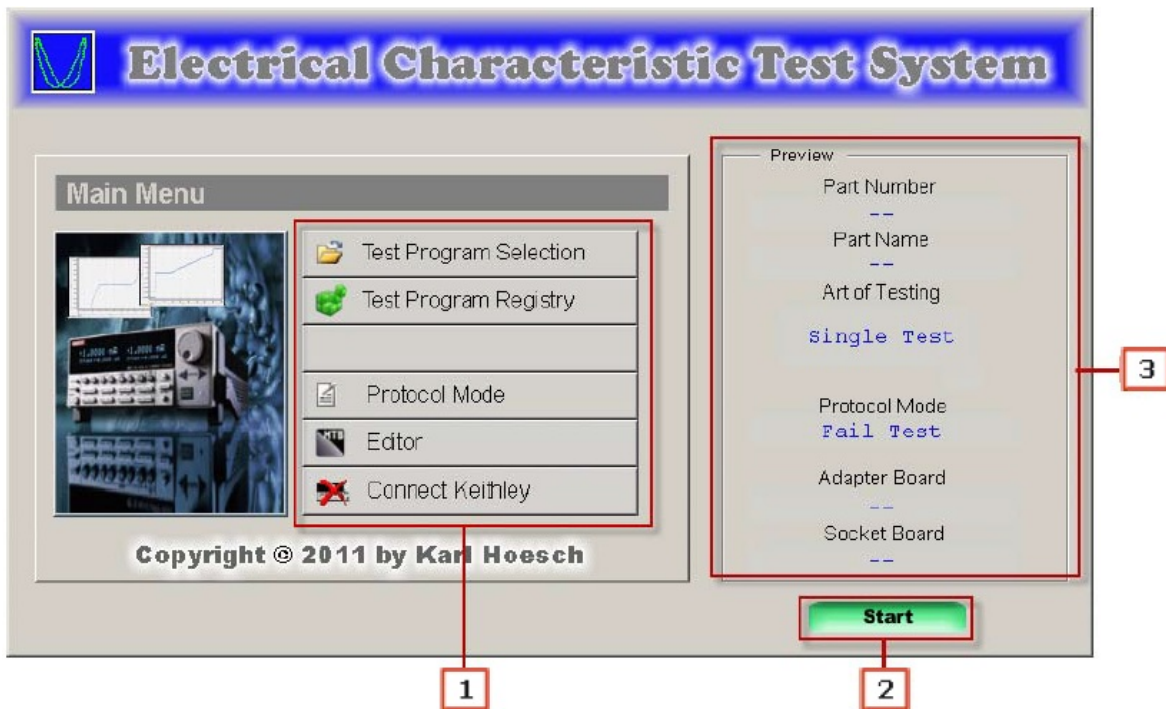


Abbildung 17: Das Hauptmenü der Software

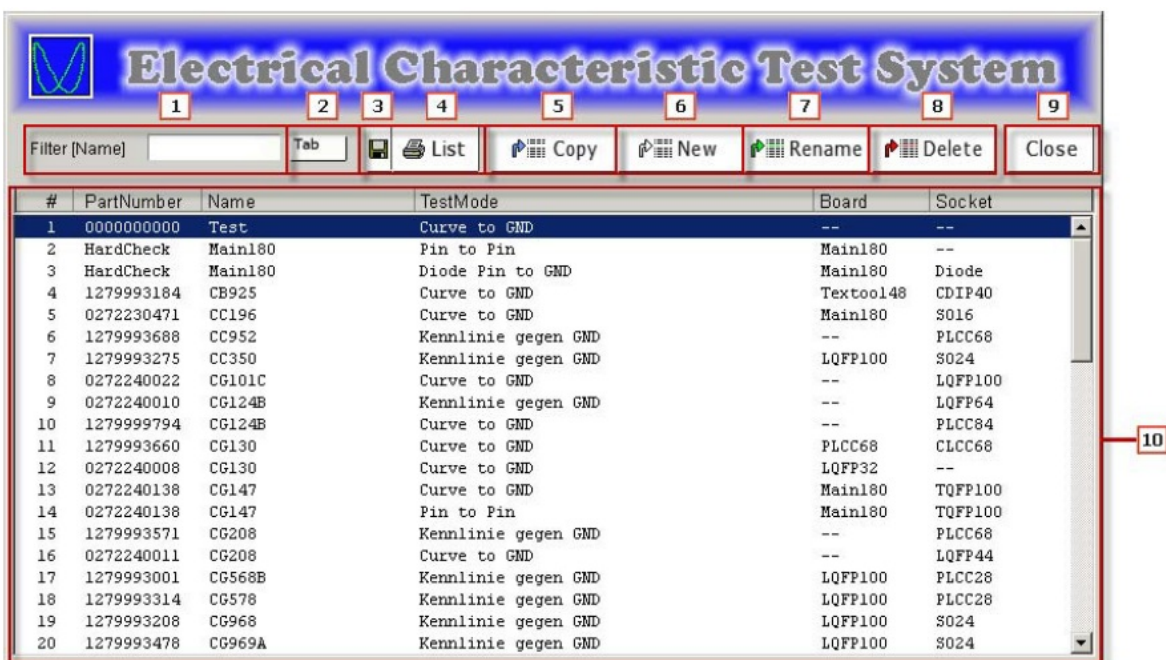


Abbildung 18: Beispielhafte Liste von Testprogrammen

Mittels des „Start“ Buttons, der in Abbildung 17 zu sehen ist, öffnet sich ein Fenster wie in Abbildung 19. Das Prüfprogramm kann ausgeführt werden, indem der Button „Start“ betätigt wird.



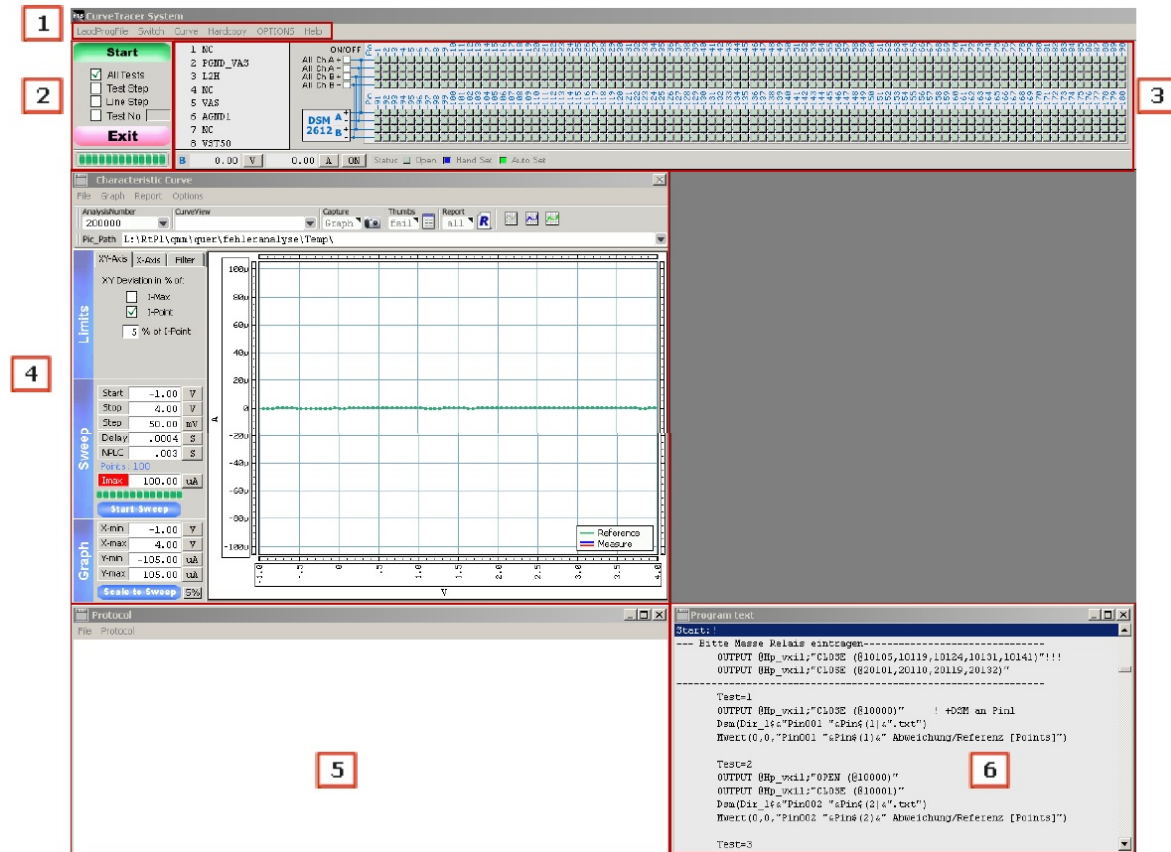


Abbildung 19: Die Messumgebung des Kennlinienschreibersystems

Sobald die Prüfung abgeschlossen ist (ca. 30 Sekunden bei einem IC mit 64 Pins), wird ein Bericht erzeugt, in dem nur die Kennlinien eingefügt werden, die von der Referenzmessung abweichen (siehe Abbildung 20). Diese werden im „Protocol“-Fenster [5] aufgelistet. Dort wird auch angezeigt, wie viele Messpunkte von der Referenzmessung abweichen.

 S2P/QMM	Pin to GND	Reference Number 230003560729	Page 1 / 2	Date 25.06.2012
	CJ840C	Prepared by Dimitrios Muratidis	Phone +49(5341)28-7806	

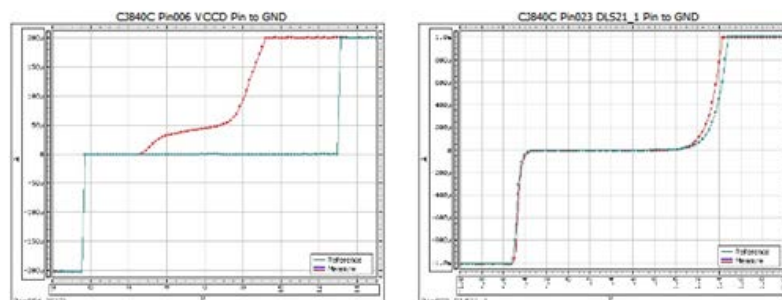


Abbildung 20: Beispielhafter Ausschnitt eines Berichts

## 2.3 Komponententester

„Das Prinzip eines Komponententesters ist in Abbildung 21 dargestellt. Er besteht aus einer potenzialfreien Wechselspannungsquelle, die eine Sinusschwingung abgibt, und einer Reihenschaltung aus Messobjekt und Widerstand. Die Sinusschwingung wird aus der 50-Hz-Netzspannung gewonnen und zur Horizontalablenkung genutzt. Den durch ein Messobjekt fließenden Strom wandelt der Widerstand  $R$  in eine proportionale Spannung um. Diese beiden Signale werden einem Oszilloskop zugeführt, das im X-Y-Betrieb arbeitet.“ Quelle [ELVE2009]

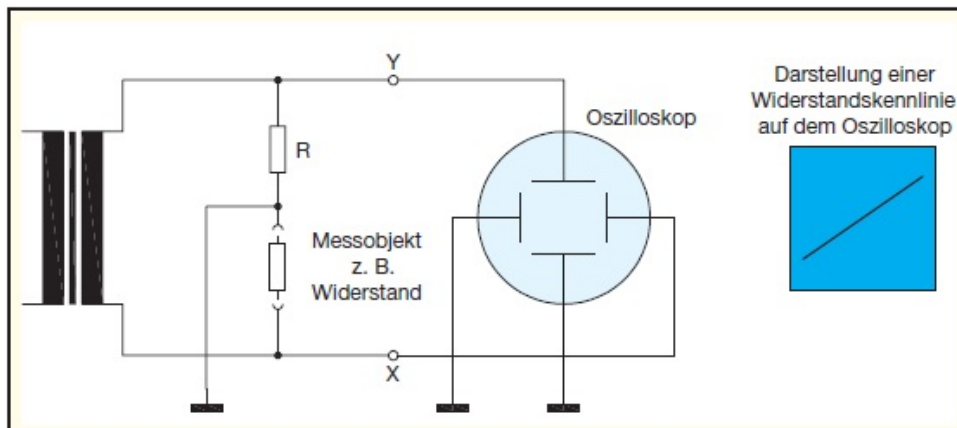


Abbildung 21: Prinzipschaltbild Komponententester (Quelle: [ELVE2009])

Gewöhnlich sind Komponententester Erweiterungen, die es passend zu handelsüblichen Oszilloskopen gibt. Teilweise haben Oszilloskope diese Erweiterung mit eingebaut. Es gibt mehrere universelle Bausätze im Handel, um ein Kennlinienmessgerät zu fertigen. Zum Teil gibt es bereits Bausätze mit Anzeige, sodass ein Oszilloskop in diesem Fall nicht notwendig ist (siehe Abbildung 22).

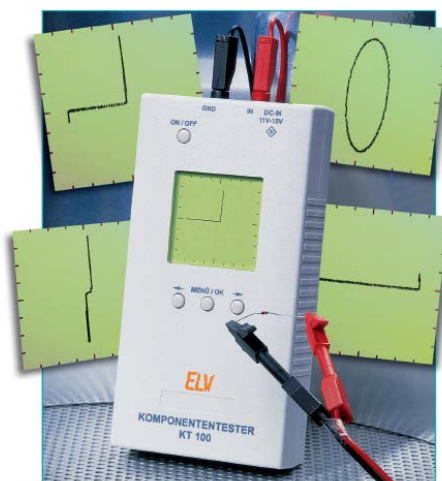


Abbildung 22: ELV Komponententester KT-100 (Quelle: [ELVE2009])

## 2.4 Kennlinienschreiber

*„Ein Standard Kennlinienschreiber hat einen Bildschirm, der den Strom eines Pfades oder einer Komponente anzeigt, während sich die Spannung verändert. Dieser Bildschirm stellt die I-U-Kennlinie in einem Rastergitter dar. Der Kreuzpunkt der Hauptachsen stellt den Punkt dar, an dem Spannung und Strom null sind.“*

*Für die Kennlinienmessung werden üblicherweise zwei Messkontakte genutzt. Jeweils ein Kontakt für jeden Pol des Pfades, der charakterisiert werden soll.“ Sinngemäß [SiFE2013]*

Kennlinienschreiber werden oft auch als Parameter-Analysatoren bezeichnet, weil in der Fehleranalyse zwischen funktionellen Fehlern und Parameter Fehlern unterschieden wird. Die Kennlinien werden zu den Parametern gezählt.

Die Firma Keithley bietet neben der bereits vorhandenen Hardware Komplettlösungen an, wie den Parameteranalysator 4200-SCS (Abbildung 23).



**Abbildung 23: Keithley 4200-SCS Parameter Analyzer (Quelle: [KeLe2013])**

Vorteile des Parameteranalysators:

- Vollintegrierte I-U-, C-U- und Puls-Tests in einem Analysator
- Konfigurierbar für die aktuellen Testanforderungen und flexibel für künftige Anforderungen (modular erweiterbar)
- Intuitive Software ermöglicht eine einfache Erstellung der Tests sowie der Erfassung und Analyse der Daten
- Schnelle I-U-Module mit Synchronisation von kurzzeitigen Signalen, Signalerfassung und I-U-Puls-Möglichkeiten
- Über 450 vom Anwender veränderbare Tests vereinfachen die Durchführung komplizierter Messungen
- Treiber für Prober und Temperatursteuerung

Im Einsatz gibt es viele Geräte von Tektronix, jedoch können diese nicht mehr bezogen werden. Keithley ist eine Tochtergesellschaft von Tektronix und wurde firmenintern an Keithley übergeben.

Konkurrenzprodukte gibt es von den Firmen Agilent oder Yokogawa, die sich in den jeweiligen Produktbroschüren nur geringfügig von Keithley unterscheiden.

## 2.5 Wahl des geeigneten Messgerätes

Das Angebot an Messgeräten für I-U-Kennlinien ist sehr unübersichtlich. Dabei kann teilweise nur ein Unterschied in der Bezeichnung festgestellt werden. Es handelt sich um eigenständige Werkzeuge oder auch Softwarelösungen. Die Tabelle 2 liefert eine Übersicht mit Beispielen für das Zielsystem.

Messgerät	Vorhandenes Gerät (ECTS)	Komponententester	Kennlinienschreiber
Haupteinsatzgebiet	Integrierte Schaltkreise, jedoch individuell einsetzbar	Dioden, Transistoren, passive Bauteile	Integrierte Schaltkreise, jedoch individuell einsetzbar
Schaltmatrix	Vorhanden	Nicht vorhanden	Nicht vorhanden
Ausführung	Hardware & Software für PC	Hardware	Hardware mit integrierter Software
Mediumanbindung	Ja, USB	Nein	Ja, USB & LAN

**Tabelle 2: Übersicht Kennlinienschreiber**

ECTS (das vorhandene Gerät) ist das geeignetste Gerät für die geplante Aufgabenstellung. Anhand der Entscheidungskriterien Haupteinsatzgebiet, Schaltmatrix, Ausführung und Mediumanbindung, hat sich ECTS durchgesetzt. Das ausschlaggebende Entscheidungskriterium für den Diplomanden war die vorhandene Schaltmatrix, die durch die Kombination aus System Switch und Reed-Relay-Karten bereits realisiert ist. Außerdem ist die Prüfprogrammerstellung am PC komfortabler als am Messgerät.

## 2.6 Präzisierung der Aufgabe und aktueller Prozessablauf

In diesem Abschnitt wird der Ausgangszustand, wie er vom Diplomanden vorgefunden wurde, für eine Analyse mittels Kennlinienmessung beschrieben. Anschließend wird auf die zukünftige Verwendung des Messgerätes eingegangen. Hier werden konkrete Ziele formuliert und begründet, warum Bosch so keine Kennlinienmessung an Steuergeräten innerhalb ihres Analyseprozesses durchführen kann. Letztendlich werden im Ergebnis die für die Aufgabenstellung notwendigen Informationen zusammengefasst und die Aufgabenstellung selbst präzisiert.

### 2.6.1 Manuelle Analyse mittels Kennlinie

Die Kennlinie eines Schaltkreis-Anschlusses stellt die Stromaufnahme in Abhängigkeit der angelegten Spannung dar. Eine Analyse anhand dieses Verhältnisses ist möglich, wenn tiefgehende Kenntnisse über das gemessene Bauteil vorhanden sind oder ein einfaches Fehlerbild, wie z.B. ein Kurzschluss, vorliegt. Für die Analyse wird die Komponentenspezifikation zu Hilfe genommen, in der die elektrischen Kennwerte des entsprechenden Bauteils beschrieben sind. Die Kennwerte enthalten alle minimalen und maximalen Grenzwerte für die vorhandenen Anschlüsse (Pins). Im Mittelpunkt stehen hierbei die minimalen und maximalen Spannungs- sowie Stromwerte. Zunächst ist es wichtig, den Spannungsbereich, der am Kennlinienschreiber eingestellt wird, größer zu wählen als den Bereich zwischen der minimalen und maximalen spezifizierten Spannung für diesen Pin. Das ist notwendig, damit die Schutzstrukturen überprüft werden können. Mit der Stromstärke sollte sich langsam an einen Wert angenähert werden, der ausreicht, um eine Kennlinie, wie in Abschnitt 1.7 erläutert wurde, zu erhalten. Um nun Abweichungen zu erkennen, wird ein Vergleich mit einer Referenzkennlinie benötigt. Hierzu muss man die gleiche Kennlinie von einem KGD (Known Good Device – Gut Teil) aufnehmen und vergleichen. Somit kann nachgewiesen werden, ob es Abweichungen am Strom-Spannungs-Verhältnis gibt. Dieser Vergleich entspricht der Fehlerverifikation und ist Grundlage für die anschließende Fehleranalyse.

Heute sind für integrierte Schaltkreise bereits Sockelplatinen vorhanden, um mithilfe von Prüfprogrammen die Teile innerhalb kurzer Zeit überprüfen zu können. Außerdem gibt es dafür ein Prüfkonzept, das für zukünftige IC als Grundlage für die Prüfprogrammerstellung dient. Dies ist aber nicht auf Motorsteuergeräte übertragbar. Motorsteuergeräte können nicht adäquat mit allen vorhandenen Pins am ECTS angeschlossen werden. Daher können die Steuergeräte nicht standardisiert mit einem Prüfprogramm geprüft werden. Die Kontaktierung erfolgt für jede Messung manuell. Das macht eine Überprüfung jedes Steuergeräte-Pins mit dem Kennlinienschreibersystem sehr aufwendig.

### **2.6.2 Die zukünftige Verwendung des Messgerätes**

Das Kennlinienschreibersystem mit der Adaptierung für Steuergeräte soll zunächst für die Analyse von reklamierten Steuergeräten eingesetzt werden. Dort soll es genutzt werden, um einen ersten, nicht zerstörenden Test durchzuführen. Es ist der Wunsch, dass dieser Test frühzeitig erkennt, in welchem Schaltkreis des Steuergerätes eine Abweichung vorhanden ist. Das soll helfen, weitere Analyseschritte zielgerichtet durchzuführen.

Außerdem soll der Test nach Bedarf wiederholt werden können, um Fehlerbilder zu verifizieren und Veränderungen am Steuergerät während der Analyse festzuhalten. Das ist notwendig, weil der Befundungsprozess chemische und mechanische Teilprozesse beinhaltet, die zu Veränderungen führen können. Ein mechanischer Prozess der für die Analyse eines defekten Steuergerätes notwendig ist, ist z.B. das Öffnen des Gehäuses. Dort wird die Leiterplatte mechanisch stark belastet, weil sie mit dem Gehäuse in der Regel verklebt ist. Mit chemischen Prozessen ist z.B. das Lösen des Wärmeleitklebers von der Leiterplatte gemeint.

Die Befundung von reklamierten Steuergeräten muss termingerecht erfolgen. Wenn das Kennlinienschreibersystem im Befundungsprozess flächendeckend eingesetzt werden soll, muss sichergestellt werden, dass alle zu erwartenden Steuergeräte geprüft werden können und Prüfprogramme mit hinterlegten Referenzkennlinien vorhanden sind.

### **2.6.3 Ziel der Diplomarbeit**

Mit Fertigstellung dieser Diplomarbeit soll es möglich sein, jedes Motorsteuergerät mithilfe des Kennlinienschreibers zu prüfen. Jedes dieser Steuergeräte soll nach dem gleichem Prüfkonzept getestet werden können. Das gilt auch für zukünftige Steuergerätevarianten. Die Kennlinienmessung soll als erste elektrische Prüfung im Prüfablauf der Steuergeräte durchgeführt werden. Diese Prüfung soll jederzeit wiederholbar sein. Die Wiederholbarkeit ist Grundlage dafür, Veränderungen am Steuergerät während des Analyseprozesses zu erkennen.

An dieser Stelle ist anzumerken, dass diese Prüfeinrichtung nur in der Gewährleistungsanalyse von Motorsteuergeräten eingesetzt wird. Somit spielt die Prüfzeit nur beiläufig eine Rolle. Vielmehr ist darauf zu achten, dass das Prüfkonzept alle möglichen Fehlerbilder, die mit der Kennlinienmessung zu erkennen sind, abdeckt.

## 3 Hardwareentwurf

Mit dem Kapitel „Hardwareentwurf“ beginnt der Hauptteil dieser Arbeit. Ziel dieses Kapitels ist es, dem Leser den Werdegang der Entscheidungsfindung für den endgültigen Aufbau des Adapters darzustellen und zu beschreiben. Es beginnt mit einer Schnittstellenbeschreibung, um eine Grundlage für die Adaptererstellung zu schaffen. Anschließend werden verschiedene Varianten vorgestellt und vor dem Hintergrund ausgewählter Faktoren bewertet. Letztendlich folgt der Entwurf, bestehend aus Verdrahtungsschema, Vorstellung der Einzelkomponenten und Montage. Abschließend wird auf die Konstruktionsthemen innerhalb der Inbetriebnahme eingegangen. Dieser Entwurf wurde durch den Diplomanden geplant und umgesetzt.

### 3.1 Schnittstellen

Bei der zu entwickelnden Hardware handelt es sich um eine Adaptierung vom Kennlinienschreibersystem auf das Steuergerät. Es muss sich zunächst mit den Schnittstellen am Kennlinienschreibersystem und am Steuergerät befassen werden, um einen solchen Adapter zu bauen.

Das gewählte Kennlinienschreibersystem bietet gegenüber den verschiedenen Steuergerätevarianten mehrere Möglichkeiten. Eine Möglichkeit wäre, direkt auf die Schnittstellen an den Reed-Relay Multiplexer Karten mit den sechs 60-poligen Steckern zu kontaktieren. Des Weiteren kann über die vier 96-poligen Stecker ein Kontakt zum Verdrahtungsadapter hergestellt werden. So besteht die Möglichkeit, über den Sockel oder die Kontaktstifte auf dem Mainboard180 eine Verbindung herzustellen (siehe auch Abschnitt 2.1).

Die Steuergeräte haben Typ spezifische Steckerleisten, die als einzige mögliche Kontaktierung verfügbar sind. Darauf wurde in Abschnitt 1.6 bereits eingegangen.

### 3.2 Lösungsvarianten

#### Manuelle Kontaktierung

Die manuelle Kontaktierung jedes einzelnen Pins ist – kurzfristig gesehen – die einfachste Möglichkeit, das Steuergerät zu messen. Hierbei wird mittels Messleitungen über die Kontaktstifte auf dem Mainboard180 direkt auf die Pins an der Steckerleiste des Steuergerätes kontaktiert. Diese Kontaktiermöglichkeit ist deswegen schlecht geeignet, um einen Vergleich zwischen Gut- und Schlechtteil durchzuführen. Es müssten alle Pins des Steuergerätes in der gleichen Reihenfolge gemessen werden, die im Vorfeld schriftlich festge-

halten werden müsste. Zusätzlich wäre die Ermittlung der Referenzkennlinien notwendig, die jedoch sehr aufwendig wäre. Insgesamt ist diese Kontaktiermöglichkeit sehr fehleranfällig, weil viele manuelle Handgriffe während der Messung notwendig sind. Geeignet ist diese Variante für einzelne Messungen mithilfe des Kennlinienschreibersystems. Der Kostenaufwand für die Realisierung ist sehr gering, aber der Zeitaufwand dafür intensiv.

### Verschiedene Adapter auf Steuergeräte-Steckerleisten

Bei dieser Lösung wird für jede Steckerleiste eine eigene Kontaktierung benötigt. Hier bietet sich die Möglichkeit, alle Schnittstellen des Kennlinienschreibersystems zu nutzen, um eine Verbindung herzustellen. Durch diesen Aufbau liegt zu jedem Zeitpunkt eine zuverlässige Verbindung vor, die wenig fehleranfällig ist. Diese Kontaktierung könnte schnell und einfach dazu genutzt werden, ein „Gut“-Steuergerät mit einem „Schlecht“-Steuergerät des gleichen Typs zu vergleichen. Während der Inbetriebnahme muss keine Verdrahtung dieses Adapters geändert werden, sodass währenddessen nur mit der Software gearbeitet wird. Die Kosten für die Herstellung eines Adapters belaufen sich auf ca. 1000€. Es muss ein Gegenstecker für eine Steckerleiste angeschafft werden, der auf einem geeigneten Stecker für das Kennlinienschreibersystem verdrahtet wird. Nachteilig ist jedoch, dass ein solcher Adapter für alle Varianten benötigt wird. Hinzu kommt noch, dass bei Steuergeräten mit mehr als 180 Pins andere Verdrahtungen vorgenommen werden müssen. Dieser Adapter eignet sich nur für Kennlinienmessung über die Steckerleiste.

### Adaptierung auf vorhandene Steuergeräte-Adaptierungen

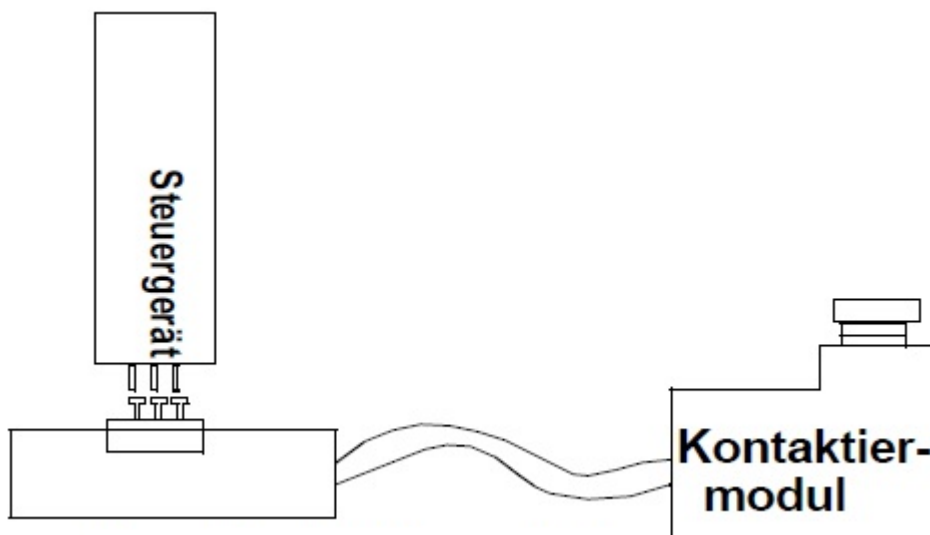


Abbildung 24: Skizze Kontaktiermodul (Quelle: [Boln2013])

Es gibt bereits vorhandene Adaptierungen für Steuergeräte, die für die Bandendeprüfung innerhalb der Produktion genutzt werden. Diese Adaptierungen, auch Kontaktiermodule genannt, haben einen einheitlichen Stecker, der sonst mit dem Prüfautomaten in der Fertigung verbunden ist. Die Problematik der verschiedenen Steuergerätesteckerleisten kann somit gelöst werden. Es besteht die Möglichkeit, mit einem Adapter alle Steuergerät, die



aktuell und zukünftig verfügbar sind, zu prüfen. Der Vorteil der Nutzung von Kontaktiermodulen gegenüber den spezifischen Adaptern liegt in der Kostenreduzierung, da nur ein Adapter angeschafft werden muss.

### **Kontaktierung ähnlich ICT**

Eine Kontaktierung ähnlich dem ICT ist für die Messung an geöffneten Steuergeräten sinnvoll. Generell kann mit dieser Kontaktierung das Steuergerät im größten Umfang getestet werden. Jedoch ist eine solche Kontaktierung nicht steckerleistenspezifisch, sondern steuergerätespezifisch. Dadurch erhöhen sich die Anzahl der benötigten Kontaktierungen und somit auch die einmaligen Kosten enorm. Außerdem müsste für diese Prüfung das Steuergerät geöffnet werden. Das heißt, es würde bereits mechanische Belastung auf das Steuergerät ausgeübt, bevor Messwerte erfasst werden können.

## **3.3 Auswahl einer Variante**

Die Möglichkeiten, einen Adapter zu entwickeln, sind vielfältig. Die Unterschiede bestehen hauptsächlich darin, von welcher Schnittstelle am Kennlinienschreibersystem auf welche Schnittstelle zum Steuergerät adaptiert wird. Die Tabelle 3 liefert eine Übersicht mit Varianten für den Zieladapter und stellt dabei die Hauptbetrachtungsebene der Adapter dar. Die Varianten, die die Prüfung nicht über die Steckerleiste durchführen, bieten nicht die Möglichkeit, am geschlossenen Steuergerät zu messen, und wurden deswegen vom Diplomanden nicht gewählt. Die Adaptierung auf vorhandene Steuergeräte-Adaptierungen erfüllt die Anforderungen am besten. Das Entscheidungskriterium ist eindeutig die Tatsache, dass mittels eines Adapters alle Steuergeräte getestet werden können. Zusätzlich bietet diese Adaptierung noch eine sichere Messung bei geringem Messaufwand.

	Manuelle Kontaktierung	Verschiedene Adapter auf Steuergeräte-Steckerleisten	Adaptierung auf vorhandene Steuergeräte-Adaptierungen	Kontaktierung ähnlich ICT
Zeitaufwand	hoch	niedrig	niedrig	niedrig
Einmalige Kosten	sehr gering	hoch	gering	sehr hoch
Aufwand bei der Inbetriebnahme bedingt durch die Kontaktierung	sehr hoch	niedrig	niedrig	niedrig
Fehleranfälligkeit der Messung	hoch	niedrig	niedrig	niedrig
Kompatibilität	Messung an allen Kontakten möglich	Messung über die Steckerleiste möglich	Messung über die Steckerleiste möglich	Messung über die zugänglichen Messpunkte auf der Leiterplatte möglich
Prüfumfang	beliebig	mittel	mittel	hoch
Eignung	Einzelmessungen	Geschlossene Steuergeräte	Geschlossene Steuergeräte	Geöffnete Steuergeräte / Leiterplatten

Tabelle 3: Übersicht Kontaktierungen

### 3.4 Verdrahtungsschema

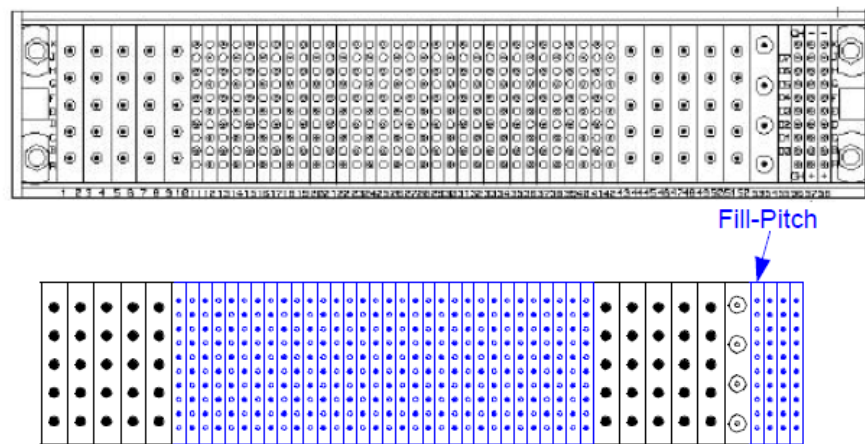
In diesem Abschnitt wird zunächst dargestellt, welche Vorüberlegungen der Diplomand gemacht hat, um ein Verdrahtungsschema zu erstellen. Anschließend wird das definierte Schema erläutert.

## Vorüberlegungen

Unser Messgerät, das ECTS, stellt 180 Messverbindungen zur Verfügung. Motorsteuergereäte haben jedoch bis zu 336 Pins und die Kontaktiermodule unterstützen von der Schnittstelle aus 400 Pins.

Für die Kennlinienmessung ist der Bezug auf das Masse-Potential wichtig, weil die Kennlinie eines Pins oft gegenüber Masse aufgenommen wird.

Die verschiedenen Kontaktiermodule sind bezüglich der Anordnung der Verbindungen innerhalb der Schnittstelle ähnlich, jedoch nicht gleich (siehe Beispiel in Abbildung 25).



**Abbildung 25: 244-poliger Übergabestecker J6 (Quelle: [Boln2013])**

Aufgrund dieser Fakten sind mehrere Verbindungen zum Messgerät notwendig, die jeweils auf den Masse Potentialen der Steuergeräte verdrahtet sind. Außerdem sollte es möglich sein, alle 400 Pins des Kontaktiermoduls zu erreichen.

## Schema

Bei der Kontrolle aller Kontaktiermodule ist aufgefallen, dass für die Masse Potentiale immer die großen 1,5mm-Buchsen verwendet wurden. Außerdem wurden die kleinen 0,75mm Buchsen durchgängig von links nach rechts (Sicht wie in Abbildung 25) nach Bedarf bestückt. Lediglich bei Steuergeräten mit mehr als 170 Pins wurde bei der Vollbestückung der 0,75mm-Buchsen zum Teil von rechts und zum Teil von links weiter bestückt. Daher wurde ein Schema verwendet, wie in Anlagen Teil 1 detailliert dargestellt. Grundsätzlich wurde darauf geachtet, dass die meisten Steuergeräte ohne einen Wechsel des Adapteranschlusses am Messgerät gemessen werden können. Letztendlich gibt es drei Anschlusskarten, wobei die erste in der Regel genutzt wird. Darüber hinaus wird die zweite Anschlusskarte bei mehr als 180 Pins am Steuergerät und die dritte bei mehr als 310 Pins verwendet.

## 3.5 Vorstellung von Einzelkomponenten

### Hyperboloide-Kontakte

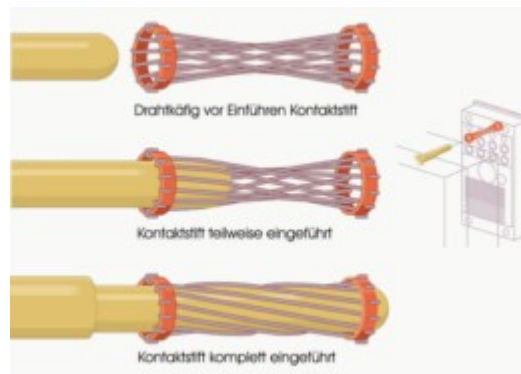


Abbildung 26: Hyperboloide-Kontakte (Quelle: [HyTa2013])

Die einzelnen Kontakte der Kontaktiermodule sind hyperboloide Kontakte (siehe Abbildung 26). Für diese muss ein Lösungsmechanismus am Adapter installiert werden, weil sie nicht kraftlos zu verbinden sind. Sonst ist es nur mit großem Kraftaufwand möglich, die Kontakte zu verbinden oder zu trennen.

### Modulare Steckverbinder

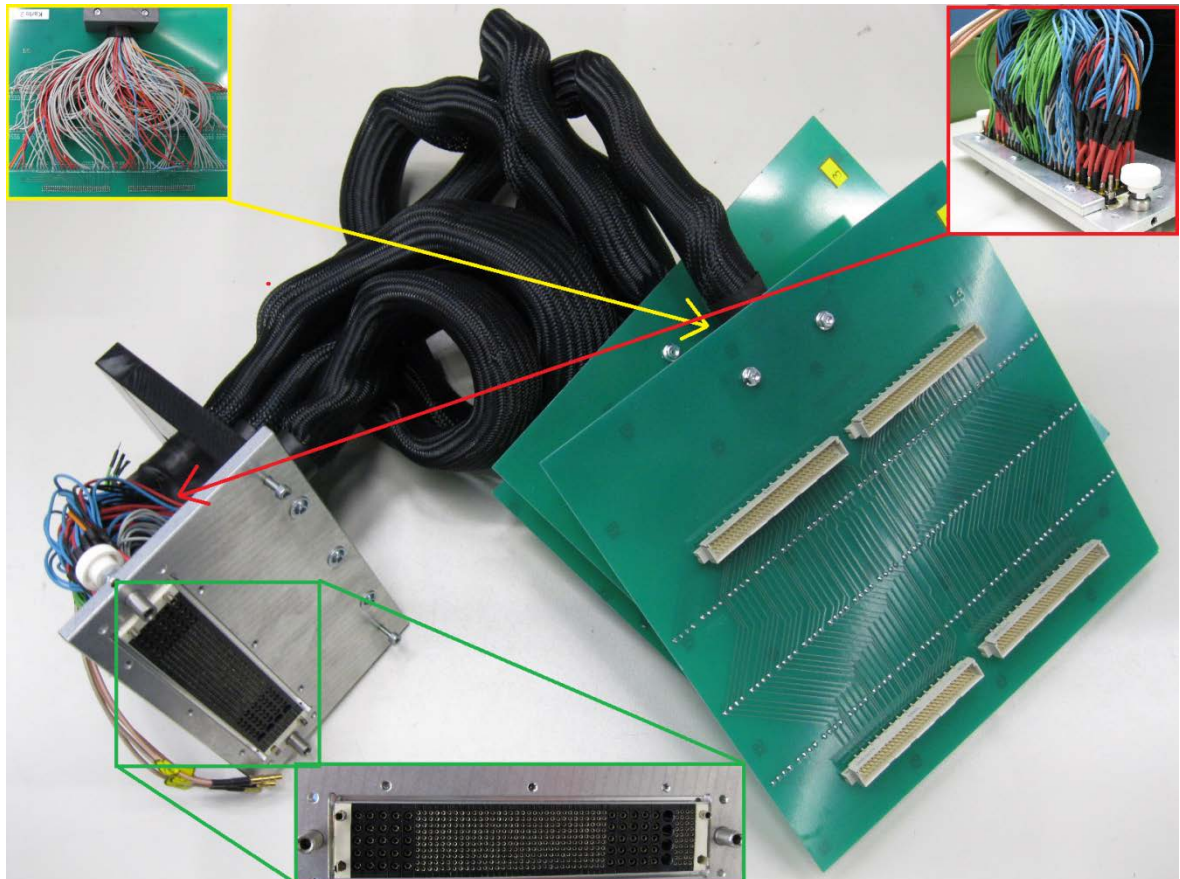


Abbildung 27: Modulare Steckverbinder (Quelle: [HyTa2013])

Die hyperboloiden Kontakte sind in einem modularen Steckverbinder eingebaut, der bei allen Kontaktiermodulen gleich aufgebaut ist. Der Vorteil dieses modularen Steckverbinders ist die bereits eingebaute Führung (in Abbildung 27 wird ein ähnlicher Steckverbinder gezeigt).

### 3.6 Montage

Der Zusammenbau des Adapters wurde vom Diplomanden geplant, der Aufbau wurde jedoch fremdvergeben. Dafür wurde der Verdrahtungsplan (in Anhang 1) und eine Beschreibung der Schnittstelle mitgeliefert. Der genaue Auftrag sowie der konkrete Aufbau wurde per Telefon besprochen. Nach Fertigstellung der Adaptierung wurde der Fremdfirma ein Kontaktiermodul von dem Diplomanden zum Ausprobieren der Adaptierung zur Verfügung gestellt.



**Abbildung 28: Adapter von ECTS auf Kontaktiermodul**

Wie in Abbildung 28 zu erkennen ist, wurden drei Leiterplatten, ähnlich dem Main-Board180, angefertigt, um zu gewährleisten, dass alle 400 Verbindungen des modularen Steckverbinders genutzt werden können. Der modulare Steckverbinder selbst wurde in eine Aluminium-Halterung eingelassen, die einen durch Schrauben realisierten Lösemechanismus enthält. Eine Zugentlastung für die Verbindungsleitungen ist sowohl an dieser Halterung als auch an den Leiterplatten angebracht.

Als Schnittstelle am ECTS wurden die vier 96-poligen Stecker gewählt, weil sie einen guten Zugang und Platz für die Verdrahtung aufweisen.

### 3.7 Inbetriebnahme

Während der Planung und des Aufbaus der Adaptierung gab es einige Konstruktionsthemen, die zu Problemen geführt haben. In diesem Abschnitt wird auf diese Themen eingegangen und Verbesserungspotential aufgezeigt.

#### **Erstellung des Verdrahtungsplans**

Der Verdrahtungsplan wurde erstellt und der Fremdfirma übergeben. Der Erstellung des Verdrahtungsplans liegt ein Konzept zugrunde, dessen Dokumentation jedoch fehleranfällig ist. In der Herstellung ist ein Fehler, bedingt durch Kopieren und Einfügen, entstanden, der zur Folge hatte, dass der Adapter nachgearbeitet werden musste. Daher ist zu empfehlen, gemeinsam mit dem Ausführenden der Fremdfirma den Plan zu erstellen und das Konzept zu erarbeiten. So besteht die Möglichkeit, derartige Fehler schnell durch das „Vier-Augen-Prinzip“ zu entdecken. Der Plan kann schließlich nach Absprache konstruktiv und zielführend geändert werden.

#### **Eindeutige Kennzeichnung von bereitgestellten Teilen und Plänen**

Wie zuvor erwähnt, wurde der modulare Steckverbinder bereitgestellt. Die Schnittstelle, die durch diese Steckverbindung realisiert wurde, war dem externen Dienstleister zuvor nicht bekannt. Deswegen wurde eine Beschreibung des modularen Steckverbinders, die die Benennung der Reihen und Spalten der Kontakte beinhaltet, zur Verfügung gestellt. Jedoch wurde eine Zeichnung von dem Gegenstück des Kontaktiermoduls, der Verdrahtungskassette, verwendet. Diese Zeichnung hatte den Vermerk, dass es sich um die Draufsicht handelt. Das hat dazu geführt, dass die Verdrahtung gespiegelt durchgeführt wurde. Die Module des Steckverbinders im Stecker selbst konnten gedreht werden. Um die Problematik zukünftig zu vermeiden, sollten die bereitgestellten Teile mit der Reihen- und Spaltenkennzeichnung beschriftet werden. So kommt es nicht zu Missverständnissen zwischen Lieferant und Konstrukteur.

## 4 Prüfkonzept

In diesem Kapitel werden Programmtypen vorgestellt. Es ist so angelegt, dass die Abfolge der Abschnitte dem Prüfkonzept entspricht. Es wird jeweils Programmablauf, Prüfschema und Sinn der Prüfung erläutert. Dieses Konzept dient als Grundlage für die Erstellung von Prüfprogrammen. Es wurde vom Diplomanden in Absprache mit Bosch Mitarbeitern aus der Fehleranalyse für Motorsteuergeräte erstellt.

### 4.1 Das Pin-to-Pin Prüfprogramm

Das Pin-to-Pin Prüfprogramm misst von einem Pin zu den benachbarten Pins. Mit dieser Messung kann man feststellen, ob es Kurzschlüsse zwischen benachbarten Pins gibt, die z.B. durch leitende Partikel im Gehäuse verursacht werden. Um diese Kurzschlüsse zu erkennen, wird bei dieser Messung der Maximalstrom auf  $50\mu\text{A}$  begrenzt. Die Partikel werden somit erkannt, aber nicht durch thermische Überlastung entfernt. Abbildung 29 zeigt einen Ausschnitt eines Pin-to-Pin Prüfprogramms.

```

1740 Start:      !
1750             !---- Bitte Masse Relais eintragen-----
1760             OUTPUT @ch_close;"2002"
1770             !-----
1780             Test=1
1790             OUTPUT @ch_close;"1001,2016,2017"
1800             Dsm(Dir_1$&"Pin001 "&Pin$(1)&".txt")
1810             Mwert(0,0,"Pin001 "&Pin$(1)&" to Pin002 "&Pin$(2)&" Fail Points")
1823 !
1830             Test=2
1840             OUTPUT @ch_open;"2002,1001"
1850             OUTPUT @ch_close;"2003,1002,2001,2018"
1860             Dsm(Dir_1$&"Pin002 "&Pin$(2)&".txt")
1870             Mwert(0,0,"Pin002 "&Pin$(2)&" to Pin003 "&Pin$(3)&" Fail Points")
1880             !
1890             Test=3
1900             OUTPUT @ch_open;"2003,1002,2001,2016"
1910             OUTPUT @ch_close;"2004,1003,2002,2019"
1920             Dsm(Dir_1$&"Pin003 "&Pin$(3)&".txt")
1930             Mwert(0,0,"Pin003 "&Pin$(3)&" to Pin004 "&Pin$(4)&" Fail Points")
1940

```

Abbildung 29: Beispiel Ausschnitt „Pin-to-Pin“ Prüfprogramm

In Abbildung 30 wird schematisch dargestellt, wie die Prüfung arbeitet.

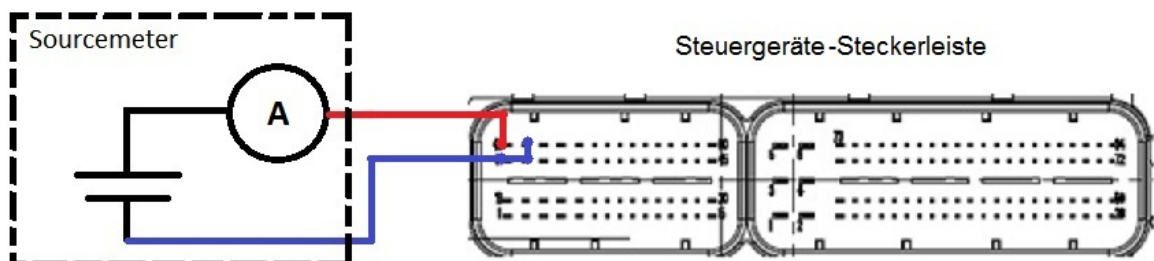


Abbildung 30: Schematische Darstellung „Pin-to-Pin“ Prüfung



## 4.2 Das Pin-to-Ground Leakage Prüfprogramm

Die Pin-to-Ground Leakage Messung soll feststellen, ob an einem oder mehreren Pins Leckströme fließen. Bei der Überprüfung kommt es darauf an, dass der Bereich um 0V stabil ist. Deshalb nähern sich die oberen und unteren Grenzströme der 0µA-Gerade an. Der Spannungsbereich ist (siehe Abbildung 31) sehr klein gewählt, um repräsentative Ergebnisse zu erzielen. Wenn die Schutzstrukturen in den Durchbruch gefahren würden, sind die Toleranzen der Kennlinie größer. Bei dieser Messung ist der Durchbruch der Schutzdioden aber nicht relevant. Um den relevanten Teil der Kurve zu messen und die hohen Toleranzen zu vermeiden, werden die Durchbrüche weggelassen.

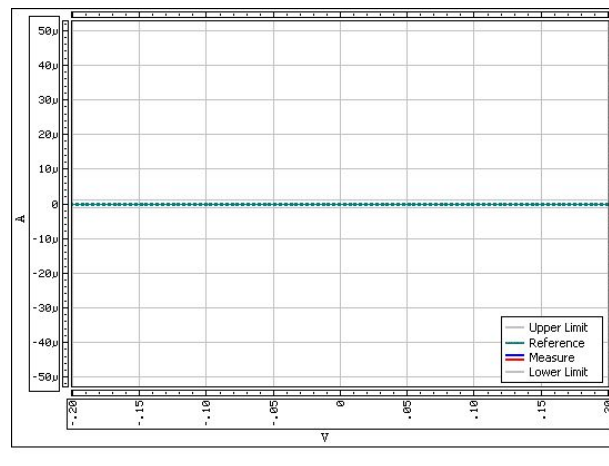


Abbildung 31: Beispielhafte „Pin-to-Ground Leakage“ Messung

Das Prüfprogramm (siehe Abbildung 32) misst hier jeden Pin gegen alle verfügbaren Ground Pins. Alle Ground Pins weisen bei dieser Messung einen Kurzschluss auf, insofern die Ground Pins untereinander verbunden sind.

```

1940 Start: !
1950      !--- Please enter the GND relay numbers for closing first -----
1960      OUTPUT @Ch_close;"2001,2018,2019,2036"      ! GND Pin(s)  "2001,2018,2019,2036"
1970      !-----
1980      Dsm_b("Set",0,"V",0,"mA","OFF")      ! Available Range: V,mV,µV      A,mA,µA
1990      !-----
2000      !
2010      Test=1
2011      OUTPUT @Ch_open;"2001"
2020      OUTPUT @Ch_close;"1001"
2030      Dsm(Dir_1&"Pin001 " &Pin$(1) &".txt")
2040      P_data(0,0,"Pin001 " &Pin$(1) &" Fail Points")
2050      !
2060      Test=2
2070      OUTPUT @Ch_open;"1001"
2080      OUTPUT @Ch_close;"1002,2001"
2090      Dsm(Dir_1&"Pin002 " &Pin$(2) &"&".txt")
2100      P_data(0,0,"Pin002 " &Pin$(2) &" Fail Points")
2110      !
2120      Test=3
2130      OUTPUT @Ch_open;"1002"
2140      OUTPUT @Ch_close;"1003"
2150      Dsm(Dir_1&"Pin003 " &Pin$(3) &"&".txt")
2160      P_data(0,0,"Pin003 " &Pin$(3) &" Fail Points")
2170      !

```

Abbildung 32: Beispielhafter Ausschnitt Pin-to-Ground Leakage Prüfprogramm



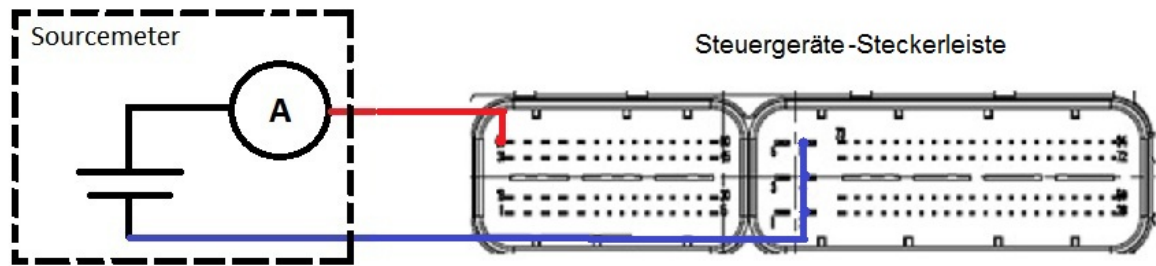


Abbildung 33: Schematische Darstellung „Pin-to-Ground“ Prüfung

### 4.3 Das Pin-to-Ground Prüfprogramm

Das Pin-to-Ground Prüfprogramm misst die Kennlinien eines Pins gegenüber der Masse. Die Prüfprogramme sowie der schematische Aufbau unterscheiden sich nicht von den Pin-to-Ground-Leakage Programmen. Der wesentliche Unterschied besteht in den Kennlinien selbst. Bei diesem Programmtyp soll vom unteren zum oberen Durchbruch der Schutzstrukturen gemessen werden. Die Strom- und Spannungsbereiche sind hier üblicherweise um ein Vielfaches höher, weil ein Ziel der Messung auch die Prüfung der Schutzstrukturen ist. In Abbildung 34 ist zu erkennen, dass die untere Durchbruchspannung bei ca. -0,5 V und die obere Durchbruchspannung bei ca. 53 V liegt.

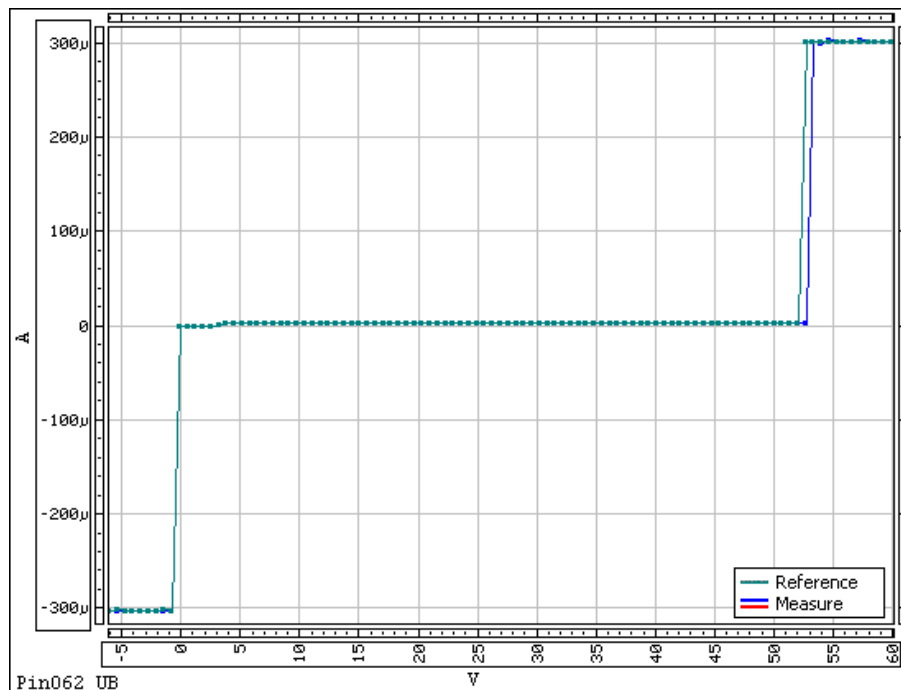


Abbildung 34: Beispielmessung „Pin to Ground“ eines CJ925 am Pin62

## 4.4 Das Pin-to-all-Pins Prüfprogramm

Das Pin-to-all-Pins Prüfprogramm misst von einem Pin zu allen anderen Pins. Diese Mess-Methode ist am effektivsten, weil sie einen Stromfluss durch alle von diesem Pin ausgehenden Pfade bewirkt. Somit werden die internen Verbindungen zwischen Pins auch mit größeren Spannungen und Strömen getestet.

```

780 Start:      !
790      !--- Bitte Masse Relais eintragen-----
800      OUTPUT @Ch_close;"2002,2003,2004,2005,2006,2007,2008,2009,2010,2011,2012,2013,2014
801      OUTPUT @Ch_close;"2046,2047,2048,2049,2050,2051,2052,2053,2054,2055,2056,2057,2058
810      !-----
820      Test=1
830      OUTPUT @Ch_close;"1001"
840      Dsm(Dir_1$&"Pin001 "&Pin$(1)&".txt")
850      Mwert(0,0,"Pin001 "&Pin$(1)&" to all other Pins Fail Points")
860      !
870      Test=2
880      OUTPUT @Ch_open;"2002,1001"
890      OUTPUT @Ch_close;"2001,1002"
900      Dsm(Dir_1$&"Pin002 "&Pin$(2)&".txt")
910      Mwert(0,0,"Pin002 "&Pin$(2)&" to all other Pins Fail Points")
920      !
930      Test=3
940      OUTPUT @Ch_open;"2003,1002"
950      OUTPUT @Ch_close;"2002,1003"
960      Dsm(Dir_1$&"Pin003 "&Pin$(3)&".txt")
970      Mwert(0,0,"Pin003 "&Pin$(3)&" to all other Pins Fail Points")

```

Abbildung 35: Beispielhafter Ausschnitt „Pin to all Pins“ Prüfprogramm

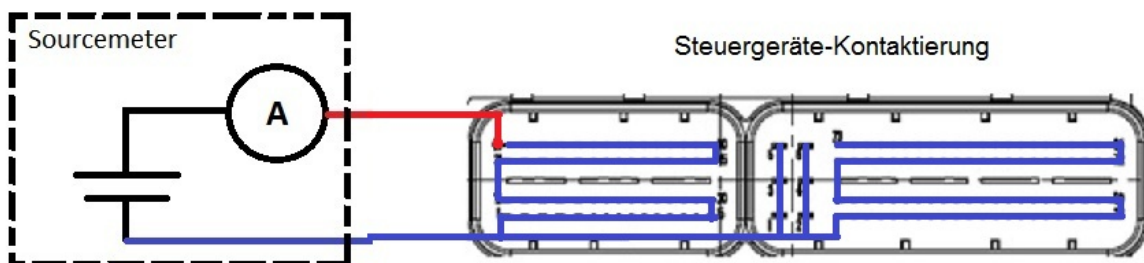


Abbildung 36: Schematische Darstellung „Pin to all Pins“ Prüfung

## 4.5 Fazit zum Prüfkonzept

Das Prüfkonzept, bestehend aus den Prüfprogrammen Pin-to-Pin, Pin-to-Ground Leakage, Pin-to-Ground und Pin-to-all-Pins, liegt als Grundlage für zukünftige Prüfprogramme vor. In diesem Konzept wird sich dem vollen Umfang der Kennlinienmessung über die Steckerleiste eines Motorsteuergerätes schrittweise genähert. Zunächst deckt die Pin-to-Pin Prüfung die Erkennung von Kurzschlüssen zwischen benachbarten Pins ab. Anschließend folgt die Pin-to-Ground Leakage Prüfung, die hochohmige Steuergeräte-Pins auf Leckströme überprüft. Mit der Pin-to-Ground Prüfung werden alle Steuergeräte-Pins gegen die Steuergeräte-Masse gemessen. Hier werden erstmals die Schutzstruktu-

ren der Schaltkreise in den Durchbruch gefahren und somit mit maximaler Spannung belastet. Die Pin-to-all-Pins Prüfung hat die gleichen Parameter wie die Pin-to-Ground Prüfung. Ihr Bezugspunkt ist jedoch nicht die Masse. Stattdessen wird von jedem Pin zu allen anderen gemessen. Durch die Abfolge dieser vier Prüfprogramme werden alle Möglichkeiten der systematischen Kennlinienmessung über die Steckerleiste von Motorsteuergeräten berücksichtigt.

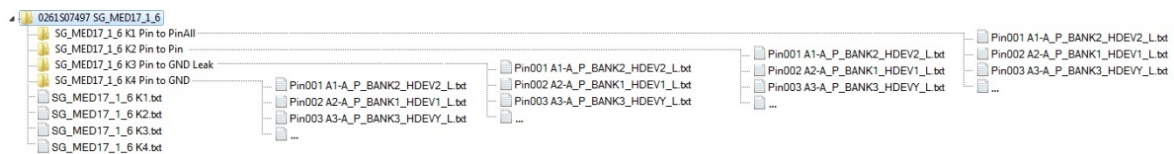


## 5 Umsetzung des Messverfahrens am Beispiel

Dieses Kapitel beschreibt, anhand des Beispiel-Steuergerätes vom Typ MED17.1.6, wie ein Prüfprogramm erstellt wird. Außerdem wird verdeutlicht, wie der Geräteselbsttest und somit die Prüfmittelüberwachung realisiert werden. Abschließend wird vom Beispiel ausgehend der komplette Umfang der Arbeit des Diplomanden reflektiert sowie ein Überblick zu den Fehlerbildern gegeben, die erkannt werden können.

### 5.1 Die Programmstruktur

Der Programmcode eines Prüfprogramms wird in txt-Dateien erfasst. Eine Datei spiegelt sowohl den Prüfablauf als auch die Pin-Namen wider. Zusätzlich gibt es für jede Messung eines Pins eine Textdatei, die die Messparameter und Referenzwerte beinhaltet. Für jeden Prüfling gibt es verschiedene Prüfmethoden, die in einem Ordner gesammelt werden. Diese Methoden werden in unterschiedlichen Programmdateien abgebildet, die hierarchisch angelegt wurden (siehe Abbildung 37).



**Abbildung 37: Hierarchische Anlage der Programmdateien**

Die Prüfprogramme zu einem Prüfling liegen direkt in dem dazugehörigen Ordner und die Benennung der Ordner entspricht immer der Typ-Teile-Nummer zzgl. der Bezeichnung des Prüflings.

Die Prüfprogramme rufen die einzelnen Messungen auf, die sich in den Unterordnern befinden. Ein Prüfprogramm, bzw. die Mess-Textdateien, sind wie in Abbildung 38 aufgebaut. Dort werden auch die Einflüsse des Programms auf die Oberfläche farblich visualisiert.

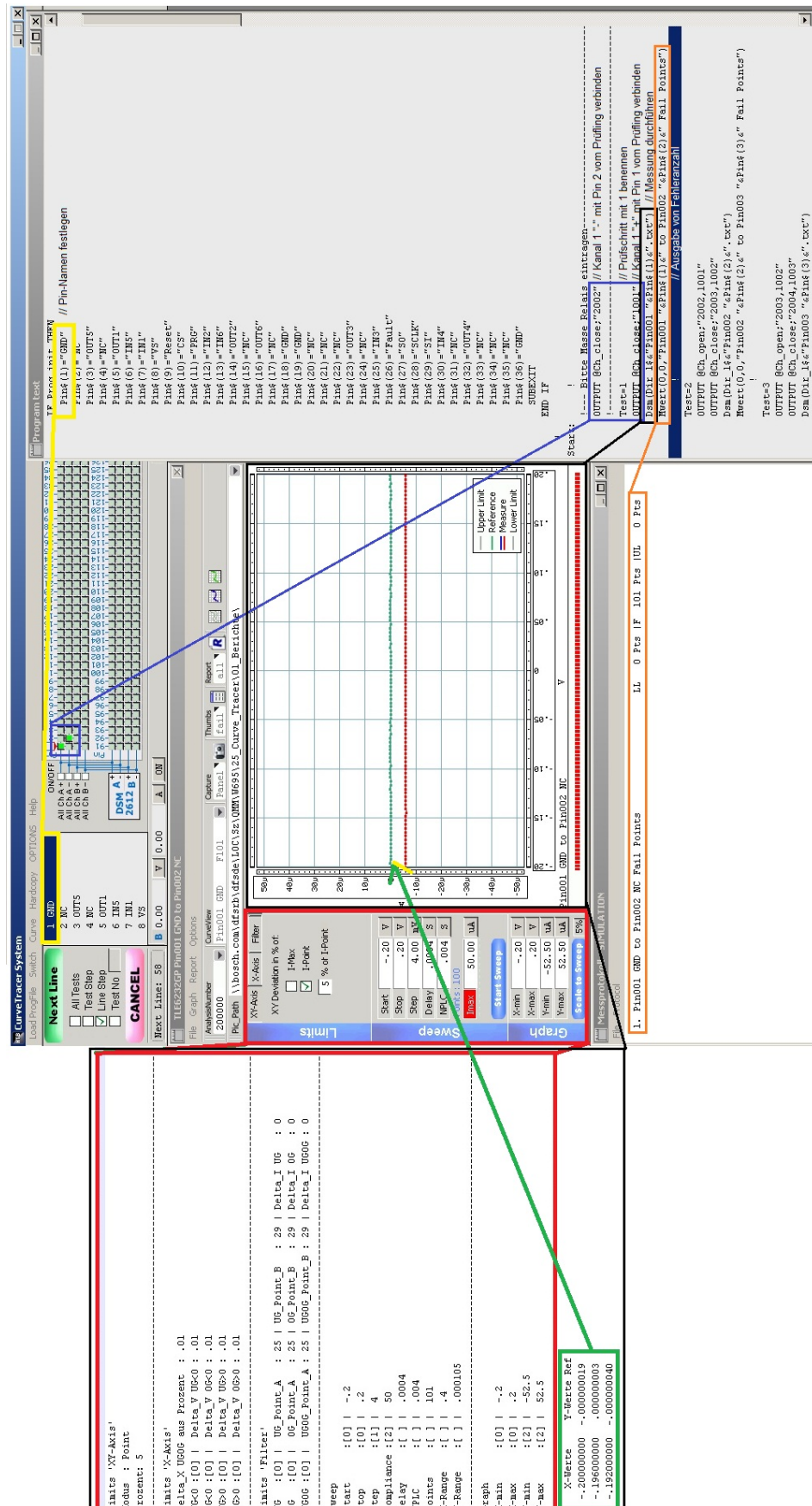


Abbildung 38: Beispielcode mit Verweisen auf die Applikation

## 5.2 Das Anlegen eines Programms

Vor dem Anlegen eines Programms müssen folgende Punkte beachtet werden:

- Um welchen Prüfling handelt es sich?
  - o Die Auswahl oder Festlegung muss vor der Erstellung eines Programms getroffen werden. Aus Gründen der Übersichtlichkeit sollten Programme für identische Prüflinge hintereinander platziert werden.
- Um welche Typ-Teile-Nummer handelt es sich? Gibt es evtl. Unterschiede zwischen gleichen Prüflingen mit verschiedenen Typ-Teile-Nummern?
  - o Prinzipiell ist vorgesehen, Prüfprogramme für jede Typ-Teile-Nummer anzulegen. Jedoch gibt es teilweise Änderungen am Prüfling, die zu einer neuen Typ-Teile-Nummer führen, aber für die Messung nicht relevant sind (z.B. Änderungen am Gehäuse). Für diesen Fall ist es nicht notwendig, ein neues Prüfprogramm anzufertigen. Es kann das vorhandene Programm der vorherigen Typ-Teile-Nummer verwendet werden.
- Gibt es schon Testprogramme für diesen Prüfling mit anderer Typ-Teile-Nummer?
  - o Sollte es schon Programme für diesen Prüfling geben, ist es nicht notwendig, diesen zu modifizieren. Es kann der vorhandene Programmcode verwendet werden.
- Mit welchem Programmtyp soll das Bauteil getestet werden?
  - o Es gibt verschiedene Programmtypen, die die Testmethode des Prüflings widerspiegeln. Diese wurden im Detail im vorherigen Abschnitt „Prüfkonzept“ beschrieben. Bei der Erstellung eines Programms kann dieser Programmtyp ausgewählt werden. Daraufhin wird ein Programmcode-Template erstellt, der nur noch minimal individuell bearbeitet werden muss.

Sobald ein Programm angelegt wurde und die Programmcode-Vorlage geladen hat, ist die Pin-Bezeichnung aus dem Datenblatt des Prüflings zu entnehmen und ins Programm zu übertragen. Anschließend sind, je nach Programmtyp, verschiedene Änderungen am Programmcode vorzunehmen. Hauptsächlich sind die Anzahl der Pins und die Art des Programmtyps interessant. Sobald der Programmablauf erstellt ist, geht es daran, die Messparameter und Referenzmesswerte der einzelnen Messungen zu ermitteln (wie im folgenden Abschnitt detailliert beschrieben). Ein gutes Programm zeichnet sich dadurch aus, dass Effekte, wie Alterung des Prüflings oder Unterschiede im Grundmaterial, nicht als Fehler erkannt werden. Daher ist es notwendig, mehrere Prüflinge aus verschiedenen Fertigungschargen für die Erstellung von Messparametern und Referenzwerten zu verwenden, die im besten Fall unterschiedlich alt sind.

## 5.3 Die automatische Ermittlung der Referenzkennlinien

Um das Erstellen von Referenzkennlinien zu vereinfachen, wurden Default-Werte festgelegt, mit denen zunächst jeder Pin des zu prüfenden Teils gemessen wird. Diese müssen



bei der Anpassung oft verändert werden, führen dem Prüfling aber keinen Schaden zu und geben eine erste Aussage über die Charakteristik des Pins. Somit ist es möglich bei unbekannten Bauteilen eine Schnellaussage über die Charakteristik der Pins zu treffen, um diese Referenzwerte abzuspeichern, gibt es eine automatische Erfassung, die mit der Funktion „Reference New (Auto)“ aufgerufen werden kann. Es ist nicht notwendig, ein Programm zu schreiben, bevor ein Bauteil gemessen werden soll. Mit Einschränkung kann unverzüglich begonnen werden. Mit Einschränkung bedeutet, dass jeder Pin mit der Voreinstellung für Start und Stoppspannung von -1V und 4V sowie dem maximalem Strom von 100µA gemessen wird.

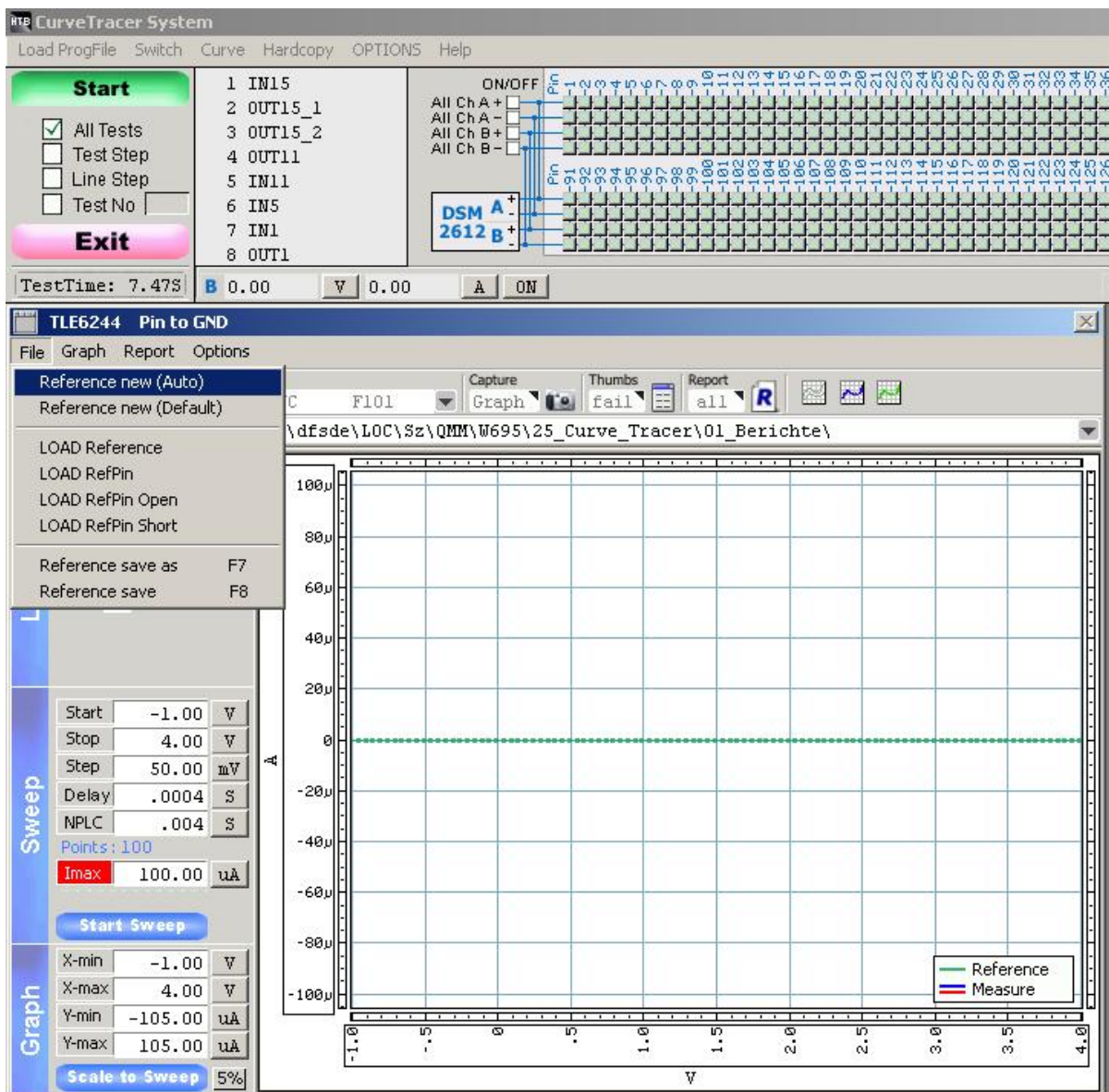


Abbildung 39: Automatische Ermittlung der Referenzkennlinie starten

Sobald ein Musterbauteil mithilfe der Funktion „Reference new (Auto)“ aufgezeichnet wurde, kann ein Prüfling gemessen werden, um die zuvor erwähnte Schnellaussage treffen zu können. Bei einem Pin-to-Ground Programm sehen die Default-Werte wie folgt aus:



- Startspannung: -1V
- Stoppspannung: 4V
- Spannungsschritte: 50mV

Daraus ergeben sich 100 Messungen/Pin.

$$\text{Messungen pro Pin} = \frac{\text{Stoppspannung} - \text{Startspannung}}{\text{Spannungsschritte}}$$

- Strombegrenzung: 100µA
- Stromtoleranz: 5%
- Messverzögerung: 400µs
- Messdauer: 4ms

## 5.4 Die Anpassung der Referenzkennlinien

Die Kennlinie eines Steuergerätes ist nicht standardisiert. Demnach muss die Kennlinie jedes einzelnen Pins individuell auf die Funktion angepasst werden. Die Kennlinie oder die Start-/Stoppspannungen dieser Kennlinie können nur selten aus dem Datenblatt des Bausteins entnommen werden. Um die Kennlinie zu ermitteln, muss spezifisches Wissen vorhanden sein.

Die Kennlinie sollte an einem „Gut“-Steuergerät immer gleich aussehen. Es ist bekannt, dass es durch Alterung von Bauteilen zu Verschiebungen der Kennlinien kommt. Dieses sollte möglichst nicht zu einem Ausfall führen, somit müssen die Toleranzgrenzen angepasst werden. Sie sollten so groß wie nötig, aber so klein wie möglich gewählt werden. Oft gibt es auch Aufladungseffekte an Pins, die mittels Veränderung der Messverzögerung oder der Messdauer kompensiert werden können. Sollte die Veränderung der Zeiten nicht zu einem guten Ergebnis führen, gibt es die Möglichkeit, die Anzahl der Messungen zu erhöhen. Normalerweise werden 100 Messungen für eine Kurve durchgeführt. Die Hard- und Software kann bis zu 1000 Messungen durchführen. Es gibt bei Halbleitern Effekte, die dazu führen, dass punktuelle Abweichungen an einer bestimmten Stelle auftreten. Diese Abweichungen deuten aber nicht auf eine Fehlfunktion des Halbleiters hin, sondern sind designbedingt. Sollte das der Fall sein, kann die Toleranz punktuell vergrößert werden. Gerade im Bereich des Nulldurchgangs gibt es Abweichungen, die designbedingt sind, aber nahezu dreiviertel der Kennlinie betreffen. Für solche Fälle empfiehlt es sich die Toleranzberechnung für diese Kennlinie umzustellen: Von  $I_{\text{Point}} \pm x\%$  auf  $I_{\text{Max}} \pm x\%$ . In diesem Fall wird nicht der aktuelle Messwert zur Toleranzberechnung herangezogen, sondern der maximale Stromwert für diese Messung. Der Toleranzbereich verläuft dann parallel zu der Kennlinie (siehe Abbildung 40 und 41).

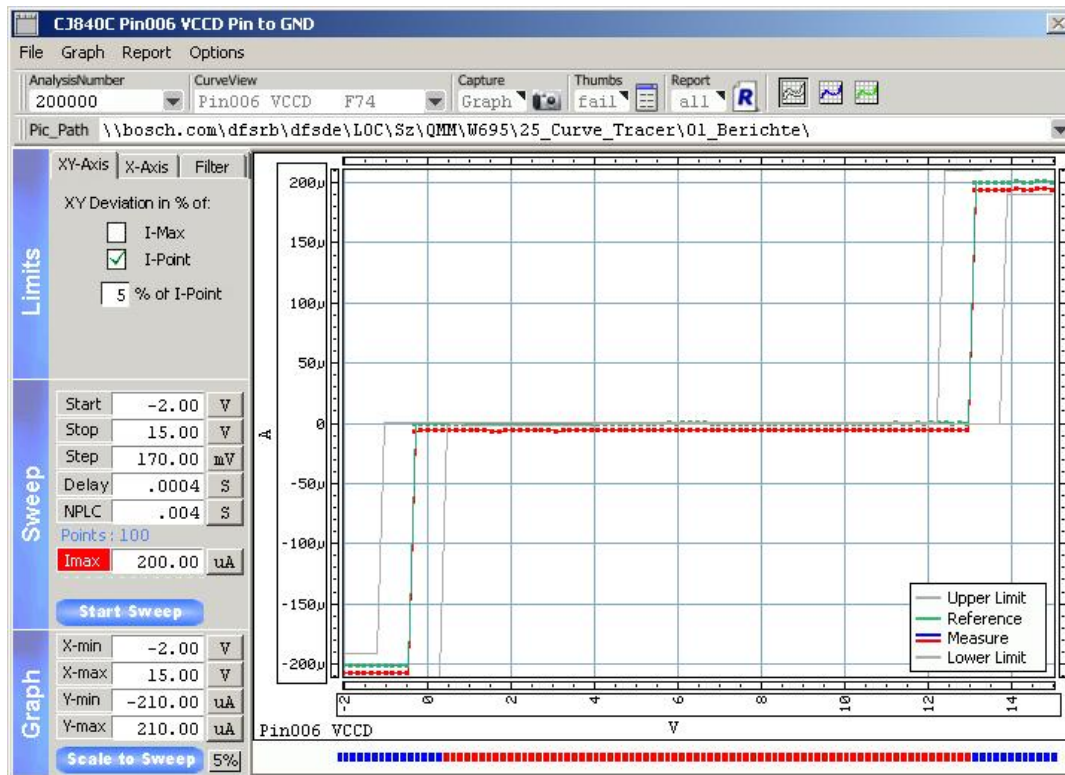


Abbildung 40: I-Point Toleranzen

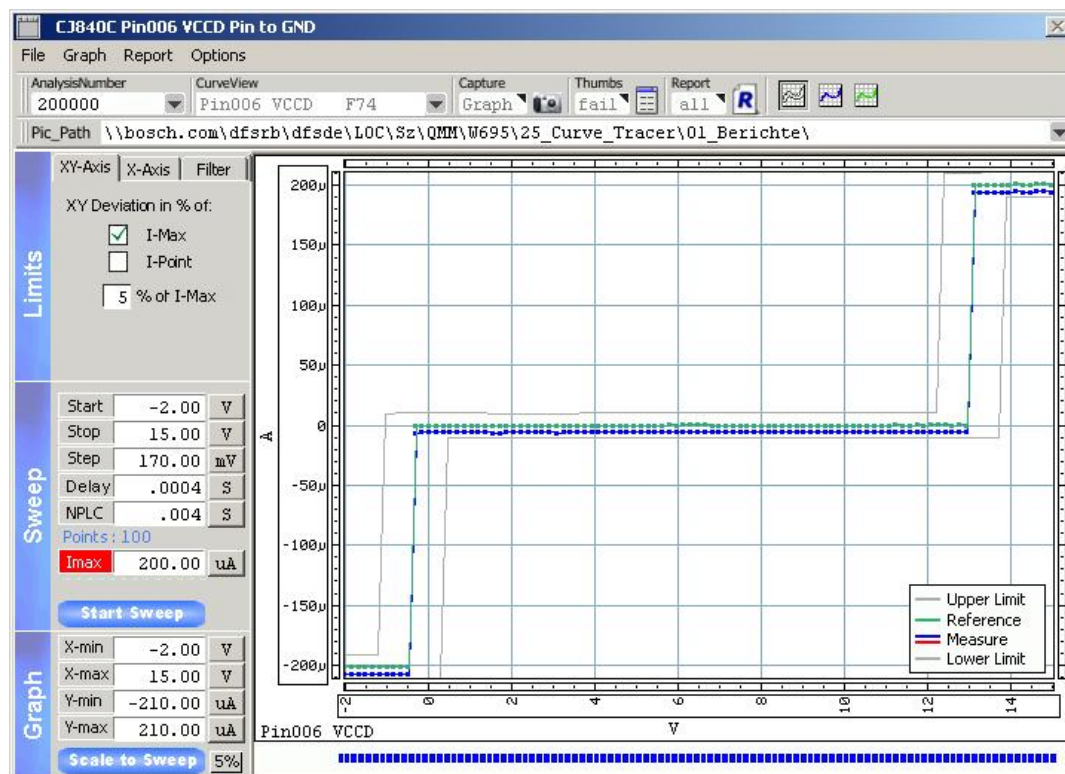


Abbildung 41: I-Max Toleranzen

## 5.5 Die Stabilisierung der Referenzkennlinien

In der Regel wird ein Prüfprogramm mit einem oder mehreren Referenzteilen erstellt. Dieser Vorgang ist abgeschlossen, sobald die Kennlinien optimal dargestellt werden und ein immer gleiches Ergebnis bei mehrfacher Messung des Steuergerätes reproduziert werden kann. Die Kennlinienmessung misst Werte, die nicht in der Spezifikation enthalten sind. Daher kommt es durchaus dazu, dass eine Abweichung gemessen wird, aber das Bauteil noch innerhalb seiner Spezifikation ist. Es wird versucht, die Kennlinien und dessen Toleranzen so zu erfassen, dass Bauteile des gleichen Typs, unabhängig von ihrer Vorgeschichte und sofern sie gut sind, auch gut geprüft werden. Dafür ist grundlegendes Wissen, welche Unterschiede es bei der Herstellung und Verwendung dieses Bauteils geben kann, nötig. Typische Unterschiede sind:

- Alterung des Bauteils
- Umgebungsbedingungen, die während des Betriebes herrschen. (Temperatur, Druck,...)
- Rohmaterial zur Herstellung der Bauteile im Steuergerät (vorwiegend bei Dioden und IC, dort ist z.B. der Reinheitsgrad und woher es stammt interessant)
- Verschiedene Verarbeitungsmethoden dieses Rohmaterials
- Unterschiede in den Fertigungsprozessen (In welcher Fabrik werden die Bauteile gefertigt?)

Wurde die Anzahl der Unterschiede ermittelt, müssen die verschiedenen Teile beschafft werden, um die Kennlinien soweit zu optimieren, dass diese Teile, sofern sie gut sind, als gut geprüft werden. Im Rahmen der Erstellung der Prüfprogramme hat sich herausgestellt, dass mit zehn Geräten die Referenzkennlinien für die Ansprüche der Steuergeräteanalyse ausreichend erfasst werden können. Jedoch waren aus Kostengründen oft weniger Steuergeräte verfügbar. Auch anhand dieser Referenzkennlinien können Steuergeräte durch geschulte Mitarbeiter, die Kennlinien zu interpretieren wissen, bewertet werden.

## 5.6 Der Geräteselbsttest

Der Geräteselbsttest soll sicherstellen, dass das Messgerät korrekt funktioniert. Der Test für dieses Gerät teilt sich in verschiedene Tests für einzelne Komponenten auf. Das Sourcemeter wird durch den Hersteller erstmalig kalibriert und anschließend durch die Messmittelüberwachung bei Bosch jährlich überprüft. Der Verdrahtungsadapter und der System Switch kann mit einer Diodenplatine und einem speziellen Prüfprogramm getestet werden. Die Kontaktiermodule werden, ähnlichen wie das Sourcemeter, regelmäßig durch die Prüfmittelüberwachung überprüft.

Der aufgebaute Adapter muss demnach, wie die anderen Komponenten, geprüft werden. Vorerst wird dies allerdings nicht realisiert, weil das Budget für dieses Projekt ausge-

schöpft ist. Es ist geplant, einen Kurzschlussstecker aufzubauen, um ähnlich der Überprüfung des Verdrahtungsadapters vorzugehen.

## **5.7 Die Umsetzung**

Auf Basis des in den vorherigen Abschnitten beschriebenen Vorgehens, hat der Diplomand verschiedene Steuergeräte in Betrieb genommen. Mittels der fertiggestellten Prüfprogramme können diese Steuergeräte innerhalb von wenigen Minuten am Kennlinienschreiber überprüft werden. Dieses Kapitel bietet eine Grundlage zur Erstellung weiterer Prüfprogramme und dient der Implementierung der Kennlinienmessung in den Analyseablauf.

## **5.8 Test der Prüfeinrichtung**

Im Rahmen der ersten Inbetriebnahmen wurden Steuergeräte geöffnet, um Fehler zu simulieren und somit die Prüfeinrichtung zu testen. Es wurden folgende Fehlertypen simuliert (siehe Tabelle 4).

<b>Fehlertyp</b>	<b>Erkennung</b>
Kurzschluss zwischen zwei benachbarten Steuergeräte-Pins	In der Pin-to-Pin Prüfung
Kurzschluss zwischen beliebigen Steuergeräte-Pins	Je nach Auswahl der Pins, in der Pin-to-Pin oder Pin-to-Ground-Leakage Prüfung
Kurzschluss über einen Entstör-Kondensator	In der Pin-to-Ground-Leakage Prüfung
Ausbauen eines Widerstandes aus einem Schaltungsteil mit Verbindung zu mindestens einem Steuergeräte-Pin	Je nach Auswahl des Widerstandes, in der Pin-to-Ground-Leakage, Pin-to-Ground oder Pin-to-all-Pins Prüfung
Kurzschluss in einer Steuergeräte internen Schaltung – z.B. über den Quarz des Mikrocontroller	Wird nicht erkannt.

**Tabelle 4: Erkennung von Fehlertypen**

Aufgrund dieser Überprüfung hat der Diplomand nachgewiesen, dass die Prüfeinrichtung alle Fehlerbilder, die eine Veränderung des Stroms von einem beliebigen Pin zu einem anderen verursacht, erkannt werden. Nicht geeignet ist die Prüfung für die Erkennung von Fehlern in internen Steuergeräte Schaltungen.



## 6 Zusammenfassung

Ziel dieses Kapitels ist es die geleistete Arbeit zusammenzufassen und das Ergebnis vorzustellen. Verbesserungspotential wird im Ausblick ausgewiesen.

### 6.1 Ergebnis

Als Ergebnis dieser Diplomarbeit liegen die verwendbaren Prüfprogramme und der Adapter vom ECTS auf die Kontaktiermodule vor. In die Erstellung dieser Prüfprogramme ist das entwickelte Prüfkonzzept eingeflossen.

Mit dem Prüfkonzzept ist es möglich, sowohl zukünftige als auch bereits bekannte Steuergeräte zu prüfen. In dem Prüfkonzzept sind die Messungen Pin-to-Pin, Pin-to-Ground Leakage, Pin-to-Ground sowie Pin-to-all-Pins enthalten.

Durch die breite Verfügbarkeit von Prüfprogrammen und hinterlegten Referenzkennlinien wird eine schnelle Analyse mittels Kennlinienschreiber ermöglicht.

Die Prüfung (oder auch eine Teilprüfung) des Steuergerätes kann zu jedem Zeitpunkt der Steuergeräteanalyse wiederholt werden.

Aus Sicht des Autors wurde ein nützliches Werkzeug geschaffen, um die Analyse von Motorsteuergeräten zu vereinfachen und zu beschleunigen. Außerdem wird somit die Möglichkeit geboten, Veränderungen am Steuergerät zu erfassen und darüber hinaus, den Analyseverlauf zu dokumentieren.

### 6.2 Ausblick

Da der Kennlinienschreiber für den Test sämtlicher elektronischer Komponenten geeignet ist, bieten sich vielfältige Möglichkeiten, ihn für ausgewählte Komponenten weiterzuentwickeln und anzupassen. Ebenso sinnvoll wäre es, eine auswertbare Datenbankanbindung für die Messprotokolle anzulegen. Da die Kennlinienmessung zwar eindeutig ist, aber aufgrund der Messwerte noch keine Fehlerursache erkannt wird, kann mithilfe einer solchen Datenbank ermittelt werden, ob es dieses Verhalten schon einmal gab. Somit kann die Fehlersuche beschleunigt werden. Außerdem könnte man diese Datenbank nutzen, um die Toleranzen der Referenzkennlinien zu optimieren und somit die Prüffähigkeit zu verbessern.

Eine umfangreiche, aber durchaus sinnvolle Erweiterung, wäre die zentrale Ablage der Anwendung und der Prüfprogramme für einen Konzern. So könnte sichergestellt werden,

dass alle Bauteile weltweit mit der gleichen Methode und mit den gleichen Prüfprogrammen gemessen werden können. Unterschiedliche Betriebsstandorte können voneinander durch Austausch ihrer Erfahrungen profitieren.



## Literatur

- [BoIn2013]      Bosch Intranet  
Stuttgart, 2013
- [BaRa2007]      Bak, Rafael: Diplomarbeit – Spezifikation und Implementierung  
einer Analysesoftware für den SPI-Bus  
Salzgitter, Robert Bosch Elektronik GmbH, 2007
- [HoKa2011]      Hösch, Karl: CurveTracer\_16  
Reutlingen, 2011
- [Wiki2012]      Integrierter Schaltkreis, Kennlinie  
Wikipedia, 2012
- [KiUw2010]      Dr. Kipke, Uwe: Grundlagen der Technischen Statistik  
Stuttgart, Robert Bosch GmbH, 2010
- [StLe2010]      Stiny, Leonhard: Fertigung und Test elektronischer Baugruppen  
Konstanz, Dr.-Ing. Paul Christiani & Co GmbH & Co. KG, 2010
- [ZeMa1986]      Zerbst, Manfred: Halbleiter Elektronik Band 20: Meß- und Prüf-  
technik  
Berlin, Springer Verlag Berlin, Heidelberg, New York, Tokyo, 1986
- [ScDi2011]      Prof. Dr.-Ing. Schmidt, Dietmar: Industrielle Fertigung: Fertigungs-  
verfahren, Mess- und Prüftechnik  
Haan-Gruiten, Verlag Europa-Lehrmittel, 2011

- [ELVE2009] ELV Elektronik AG: Bau und Bedienungsanleitung Komponententester KT100  
2009
- [SiFE2013] Siliconfareast.com: Curve Tracing  
<http://www.siliconfareast.com/curvetrace.htm>
- [HyTa2013] HyperTac: Hyperboloide-Kontakte & Modulare Steckverbinden  
<http://www.hypertac.com/>
- [KeLe2013] Keithley Instruments Inc.: 4200-SCS Parameter Analyzer  
<http://www.keithley.de/>

# Anlagen

Teil 1 .....	A-I
--------------	-----



# Anlagen, Teil 1 – Verdrahtungsplan SG-Adapter

Curve Tracer Stecker 1	J6 Stecker	Curve Tracer Stecker 1	J6 Stecker	Curve Tracer Stecker 1	J6 Stecker
1	AB1,2	61	AB43,44	121	D27
2	CD1,2	62	CD43,44	122	F27
3	EF1,2	63	EF43,44	123	H27
4	GH1,2	64	GH43,44	124	K27
5	JK1,2	65	JK43,44	125	A28
6	B11	66	AB45,46	126	C28
7	D11	67	CD45,46	127	E28
8	F11	68	EF45,46	128	G28
9	H11	69	GH45,46	129	J28
10	K11	70	JK45,46	130	B29
11	A12	71	AB47,48	131	D29
12	C12	72	CD47,48	132	F29
13	E12	73	EF47,48	133	H29
14	G12	74	C18	134	K29
15	AB3,4	75	E18	135	A30
16	CD3,4	76	G18	136	C30
17	EF3,4	77	J18	137	E30
18	GH3,4	78	B19	138	G30
19	JK3,4	79	D19	139	AB49,50
20	AB5,6	80	F19	140	J30
21	J12	81	H19	141	B31
22	B13	82	K19	142	D31
23	D13	83	A20	143	F31
24	F13	84	C20	144	H31
25	H13	85	E20	145	K31
26	K13	86	G20	146	A32
27	A14	87	J20	147	C32
28	C14	88	B21	148	E32
29	E14	89	D21	149	G32
30	CD5,6	90	F21	150	J32
31	EF5,6	91	H21	151	B33
32	GH5,6	92	K21	152	D33
33	JK5,6	93	A22	153	F33
34	AB7,8	94	C22	154	H33
35	CD7,8	95	GH47,48	155	K33
36	G14	96	E22	156	A34
37	J14	97	G22	157	C34
38	B15	98	J22	158	E34
39	D15	99	B23	159	G34
40	F15	100	D23	160	J34
41	H15	101	F23	161	JK9,10
42	K15	102	H23	162	CD49,50
43	A16	103	K23	163	EF49,50
44	C16	104	A24	164	GH49,50
45	EF7,8	105	C24	165	JK49,50
46	GH7,8	106	E24	166	AB51,52
47	JK7,8	107	G24	167	CD51,52
48	AB9,10	108	J24	168	EF51,52
49	CD9,10	109	B25	169	GH51,52
50	EF9,10	110	D25	170	JK51,52
51	E16	111	F25	171	B35
52	G16	112	H25	172	D35
53	J16	113	K25	173	F35
54	B17	114	A26	174	H35
55	D17	115	C26	175	K35
56	F17	116	E26	176	A36
57	H17	117	JK47,48	177	C36
58	K17	118	G26	178	E36
59	A18	119	J26	179	G36
60	GH9,10	120	B27	180	J36

Curve Tracer Stecker 2	J6 Stecker	Curve Tracer Stecker 2	J6 Stecker	Curve Tracer Stecker 2	J6 Stecker
1	AB1,2	61	AB43,44	121	C11
2	CD1,2	62	CD43,44	122	E11
3	EF1,2	63	EF43,44	123	G11
4	GH1,2	64	GH43,44	124	J11
5	JK1,2	65	JK43,44	125	B12
6	B37	66	AB45,46	126	D12
7	D37	67	CD45,46	127	F12
8	F37	68	EF45,46	128	H12
9	H37	69	GH45,46	129	K12
10	K37	70	JK45,46	130	A13
11	A38	71	AB47,48	131	C13
12	C38	72	CD47,48	132	E13
13	E38	73	EF47,48	133	G13
14	G38	74	C41	134	J13
15	AB3,4	75	E41	135	B14
16	CD3,4	76	G41	136	D14
17	EF3,4	77	J41	137	F14
18	GH3,4	78	B40	138	H14
19	JK3,4	79	D40	139	AB49,50
20	AB5,6	80	F40	140	K14
21	J38	81	H40	141	A15
22	B39	82	K40	142	C15
23	D39	83	A39	143	E15
24	F39	84	C39	144	G15
25	H39	85	E39	145	J15
26	K39	86	G39	146	B16
27	A40	87	J39	147	D16
28	C40	88	B38	148	F16
29	E40	89	D38	149	H16
30	CD5,6	90	F38	150	K16
31	EF5,6	91	H38	151	A17
32	GH5,6	92	K38	152	C17
33	JK5,6	93	A37	153	E17
34	AB7,8	94	C37	154	G17
35	CD7,8	95	GH47,48	155	J17
36	G40	96	E37	156	B18
37	J40	97	G37	157	D18
38	B41	98	J37	158	F18
39	D41	99	B36	159	H18
40	F41	100	D36	160	K18
41	H41	101	F36	161	JK9,10
42	K41	102	H36	162	CD49,50
43	A42	103	K36	163	EF49,50
44	C42	104	A35	164	GH49,50
45	EF7,8	105	C35	165	JK49,50
46	GH7,8	106	E35	166	AB51,52
47	JK7,8	107	G35	167	CD51,52
48	AB9,10	108	J35	168	EF51,52
49	CD9,10	109	B34	169	GH51,52
50	EF9,10	110	D34	170	JK51,52
51	E42	111	F34	171	A19
52	G42	112	H34	172	C19
53	J42	113	K34	173	E19
54	B42	114	A33	174	G19
55	D42	115	C33	175	J19
56	F42	116	E33	176	B20
57	H42	117	JK47,48	177	D20
58	K42	118	G33	178	F20
59	A41	119	J33	179	H20
60	GH9,10	120	A11	180	K20

Curve Tracer Stecker 3	J6 Stecker	Curve Tracer Stecker 3	J6 Stecker	Curve Tracer Stecker 3	J6 Stecker
1	AB1,2	61	AB43,44	121	H55
2	CD1,2	62	CD43,44	122	J55
3	EF1,2	63	EF43,44	123	K55
4	GH1,2	64	GH43,44	124	A56
5	JK1,2	65	JK43,44	125	B56
6	A21	66	AB45,46	126	C56
7	C21	67	CD45,46	127	D56
8	E21	68	EF45,46	128	E56
9	G21	69	GH45,46	129	F56
10	J21	70	JK45,46	130	G56
11	B22	71	AB47,48	131	H56
12	D22	72	CD47,48	132	J56
13	F22	73	EF47,48	133	K56
14	H22	74	D28	134	A57
15	AB3,4	75	F28	135	B57
16	CD3,4	76	H28	136	C57
17	EF3,4	77	K28	137	D57
18	GH3,4	78	A29	138	E57
19	JK3,4	79	C29	139	AB49,50
20	AB5,6	80	E29	140	F57
21	K22	81	G29	141	G57
22	A23	82	J29	142	H57
23	C23	83	B30	143	J57
24	E23	84	D30	144	K57
25	G23	85	F30	145	A58
26	J23	86	H30	146	B58
27	B24	87	K30	147	C58
28	D24	88	A31	148	D58
29	F24	89	C31	149	E58
30	CD5,6	90	E31	150	F58
31	EF5,6	91	G31	151	G58
32	GH5,6	92	J31	152	H58
33	JK5,6	93	B32	153	J58
34	AB7,8	94	D32	154	K58
35	CD7,8	95	GH47,48	155	
36	H24	96	F32	156	
37	K24	97	H32	157	
38	A25	98	K32	158	
39	C25	99		159	
40	E25	100		160	
41	G25	101		161	JK9,10
42	J25	102		162	CD49,50
43	B26	103		163	EF49,50
44	D26	104		164	GH49,50
45	EF7,8	105		165	JK49,50
46	GH7,8	106		166	AB51,52
47	JK7,8	107		167	CD51,52
48	AB9,10	108		168	EF51,52
49	CD9,10	109	ABC53,54	169	GH51,52
50	EF9,10	110	CDE53,54	170	JK51,52
51	F26	111	FGH53,54	171	
52	H26	112	HJK53,54	172	
53	K26	113	A55	173	
54	A27	114	B55	174	
55	C27	115	C55	175	
56	E27	116	D55	176	
57	G27	117	JK47,48	177	
58	J27	118	E55	178	
59	B28	119	F55	179	
60	GH9,10	120	G55	180	



	Koaxial
	0,6 mm
	1,5mm



## **Selbstständigkeitserklärung**

Hiermit erkläre ich, dass ich die vorliegende Arbeit selbstständig und nur unter Verwendung der angegebenen Literatur und Hilfsmittel angefertigt habe.

Stellen, die wörtlich oder sinngemäß aus Quellen entnommen wurden, sind als solche kenntlich gemacht.

Diese Arbeit wurde in gleicher oder ähnlicher Form noch keiner anderen Prüfungsbehörde vorgelegt.

Mittweida, den 21.03.2014

Christoph Schum



CD

---

**CD**

Inhalt: Diplomarbeit im PDF-Format.